# ORTAÖĞRETİM

# KİMYA 11

# DERS KİTABI

Bu kitap, Milli Eğitim Bakanlığı Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 18.04.2019 tarih ve 8 sayılı kararıyla (listenin 104. sırasında) 2019-2020 öğretim yılından itibaren, 5 (beş) yıl süreyle ders kitabı olarak kabul edilmiştir.

**YAZAR**

**Nurettin ÖZKAZAN**




E Kare Eğitim Yayıncılık Mat. San. Ve Tic. Ltd. Şti.

Korkut Reis Mahallesi Sezenler Cad. 16/12  Sıhhiye-Çankaya / ANKARA

Tel: (549) 505 60 50

**Haberleşme Adresi**

**E KARE EĞİTİM YAYINCILIK**

Korkut Reis Mahallesi Sezenler Cad. 16/12 Sıhhiye-Çankaya / ANKARA

tel: (549) 505 60 50

www.ekareyayinlari.com

e-posta : ekareyayinlari@gmail.com

SERTİFİKA NO : 32558

ISBN : 978-605-84029-7-3

## HAZIRLAYANLAR

**Dil Uzmanı**
Köksal DOĞAN

Görsel Tasarımcı
Nilay Hazal BAŞARIR

**Baskı ve Cilt**




**Adres:** Saray Mahallesi 123. Cadde No:2/1
Kahramankazan / ANKARA

**Tel:** 0 312 384 15 36 **Belgeç:** 0 312 384 15 37

**Web:** www.ozyurtmatbaacilik.com

**Mail:** ozyurt@ozyurtmatbaacilik.com

**Sertifika No:** 13385

**Baskı Yeri ve Yılı**
ANKARA - 2019



# İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

**Mehmet Âkif Ersoy**

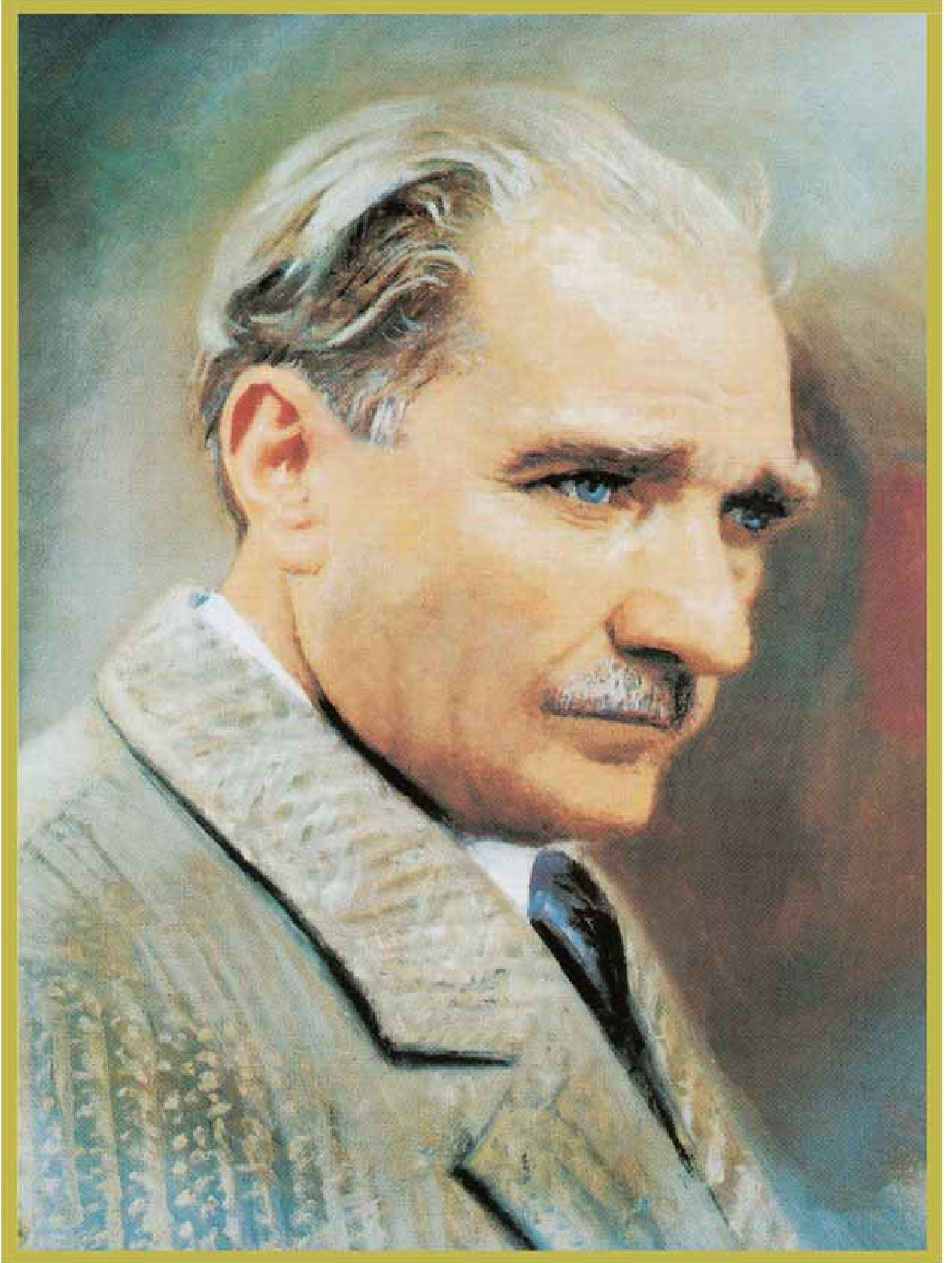
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

# İÇİNDEKİLER

## 3. ÜNİTE SIVI ÇÖZELTİLER VE ÇÖZÜNÜRLÜK



## 4. ÜNİTE KİMYASAL TEPKİMELERDE ENERJİ



## 5. ÜNİTE KİMYASAL TEPKİMELERDE HIZ

İÇİNDEKİLER

## 6. ÜNİTE KİMYASAL TEPKİMELERDE DENGE

Laboratuvar uygulamalarında oluşabilecek tehlikelere karşı öğrencileri uyarmak ve onların gerekli önlemleri almalarını sağlamak için güvenlik sembolleri kullanılmaktadır. Bu semboller aşağıda açıklanmıştır.

| | | | |
|---|---|---|---|
| | **Elbise Güvenliği** Bu sembol, elbiseyi lekeleyecek veya yakacak maddeler kullanıldığını, bunun için önlük ya da tulum kullanılması gerektiğini belirtir. | | **Kesici Cisimler Güvenliği** Bu sembol, kesme ve delme tehlikesi olan keskin cisimler kullanıldığını belirtir. |
| | **Göz Güvenliği** Bu sembol, gözler için tehlike olduğunda koruyucu gözlük takılması gerektiğini belirtir. | | **Kırılabilir Cam Uyarısı** Bu sembol, yapılacak deneylerde kullanılan cam malzemelerin kırılabilecek türden olduğunu belirtir. |
| | **Eldiven Güvenliği** Bu sembol, çok sıcak yüzeyler ve ısıtıcılar kullanılırken veya cilde zararlı bazı kimyasal maddelerle çalışırken eldiven kullanılması gerektiğini belirtir. | | **Elektrik Güvenliği** Bu sembol, elektrikli aletler kullanılırken nelere dikkat edilmesi gerektiğini belirtir. |
| | **Korozif (Aşındırıcı)** Bu sembol, metalleri aşındırabileceğini, cilde dokunması hâlinde yakıcı olabileceğini belirtir. | | **Radyoaktif** Bu sembol, radyoaktif maddelerin bulunduğu veya kullanıldığı yerleri gösterir. Buralardan uzak durulması gerektiğini belirtir. |
| | **Yangın Güvenliği** Bu sembol yanıcı ve parlayıcı maddelerin olduğunu, vücut ile temas ettirilmemesi, ateş, kıvılcım ve ısıdan uzak tutulması gerektiğini belirtir. | | **Tahriş Edici** Bu sembol deriye ve göze hasar vereceğini, buharını solunmaması gerektiğini, vücut ile temas ettirilmemesi gerektiğini belirtir. |
| | **Oksitleyici, Yakıcı Madde** Bu sembol yanabilir maddelerle karıştırıldığında patlayabileceğini, ateş, kıvılcım ve ısıdan uzak tutulması gerektiğini belirtir. | | **Çevreye Zararlı** Bu sembol çevreye yayıldığında doğadaki canlılara, toprağa ve suya zarar verebileceğini, canlıların ve çevrenin bozulmasına neden olabileceğini belirtir. |
| | **Patlayıcı** Bu sembol kıvılcıma, ısınmaya, aleve, çarpmaya ve sürtünmeye maruz kaldığında patlayabileceğini, ateş, kıvılcım ve ısıdan uzak tutulması gerektiğini belirtir. | | **Zehirli (Toksik)** Bu sembol, yapılacak işlemlerde zehirli kimyasal maddeler kullanıldığını belirtir. |

# ORGANİZASYON ŞEMASI

**Ünite Girişi**
Ünitenin numarası ve adı belirtilmiştir. Her ünitenin kendine özgü bir rengi vardır.

**Bölümler**
Ünitede yer alan bölümlerin numarası ve adı verilmiştir.

**Ünite Giriş Görseli**
Ünitede işlenecek konu/konulara yönelik bir görsel verilmiştir.

**Anahtar Kavramlar**
Ünitede geçen kavramlar verilmiştir.

**1. ÜNİTE** MODERN ATOM TEORİSİ

1 > ATOMUN KUANTUM MODELİ
2 > PERİYODİK SİSTEM VE ELEKTRON DİZİLİMLERİ
3 > PERİYODİK ÖZELLİKLER
4 > ELEMENTLERİ TANIYALIM
5 > YÜKSELTGENME BASAMAKLARI

**Anahtar Kavramlar**

atom, atom modeli, Aufbau Prensibi, değerlik elektronu, değerlik orbital, elektron dizilimi, elektron ilgisi, elektronegatiflik, enerji düzeyi (katman), Hund Kuralı, iyonlaşma enerjisi, kuantum sayıları, küresel simetri, orbital (dalga fonksiyonu), Pauli İlkesi, periyodik sistem, teori, yörünge, yükseltgenme basamağı

**Ünitede**

Karanlığı aydınlatan havai fişeklerin oluşturduğu renklerin birçoğu atomların yaydığı ışınlardan kaynaklanır. Örneğin kırmızı stronsiyum, turuncu kalsiyum, sarı sodyum, yeşil baryum ve mavi bakır atomunun yaydığı ışınların oluşturduğu renklerdendir. Atomların tıpkı parmak izi gibi kendine özgü yaydığı bu ışınlar sadece modern atom teorisinin sunduğu atomun kuantum modeli ile açıklanabilir. Modern atom teorisi, elektronların kimyada oynadıkları kritik rolün anlaşılmasına ve öngörülmesine imkân sağlar.

**ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI**

1. Bir atomda elektronlar nerede bulunabilir? Açıklayınız.
2. Atomların elektron dizilimlerinin hangi kural/ilke/prensibe göre yazıldığını araştırınız.

12

**Ünite Tanıtımı**
Ünitenin bölümlerinde daha ayrıntılı ele alınacak konuya/konulara çağrışım yaptıracak, günlük hayatta karşılaşılan olaylara ve gözlemlere dikkat çektirecek bir metin verilmiştir.

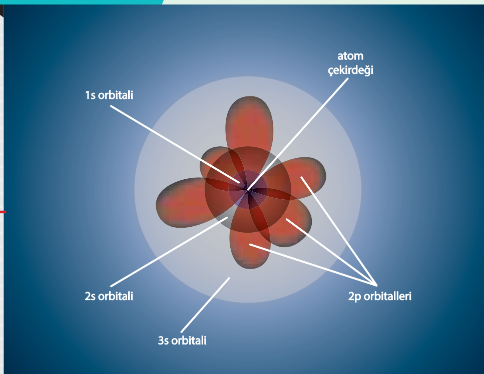
**Ünite Hazırlık Soruları**
Ünitede ele alınacak konuya/konulara çağrışım yaptıracak, günlük hayatta karşılaşılan olaylara ve gözlemlere dikkat çektirecek sorular verilmiştir.

**Bölüm Girişi**
Ünitenin kaçıncı bölümü olduğu ve bölümün adı belirtilmiştir.

**Bölüm Giriş Görseli**
Bölümde işlenecek konu/konulara yönelik bir görsel verilmiştir.

**Konular**
Ünitenin ilgili bölümünde yer alan konulara ait kazanım numaraları ve konu adları verilmiştir.

**1. Bölüm** ATOMUN KUANTUM MODELİ




**Konular**

1.1.1 Bohr Atom Modelinin Sınırlılıkları
1.1.2 Orbital Kavramı
1.1.3 Kuantum Sayıları İle Orbitaller Arasındaki İlişki
1.1.4 Çok Elektronlu Atomlarda Orbitallerin Enerji Seviyeleri

**Bölümde**

20. yüzyılın başlarında bilim insanları, atomların yapısını tanımlamak için 17. yüzyılda Isaac Newton (Ayzek Nivton) tarafından önerilen ve hareket yasalarını içeren klasik fizik yasalarının kullanılabileceğini zannettiler. Çünkü klasik fizik yasaları makroskobik dünyada toplar ve gezegenler gibi görünür nesnelerin hareketini tanımlamada oldukça başarılıydı. Oysa klasik fizik yasaları, mikroskobik dünyada gözlenemeyen atomlardaki elektronlara uygulandığında, elektronların hareketini açıklamada başarısızdı.

Bilim insanları, yaptıkları deneysel çalışmalarda elektronun çok küçük dünyasının, gözlemlerin yapıldığı bu büyük dünyadan farklı davrandığını keşfettiler. Bu farklılıklardan en önemlisi, atomun kuantum modeli ile açıklanabilen ve gözlenemeyen elektron gibi çok küçük taneciklerin aynı anda iki farklı yerde olabileceği düşüncesidir.

13

**Bölüm Tanıtımı**
Bölümde daha ayrıntılı ele alınacak konuya/konulara ilişkin bir metin verilmiştir.

## ETKİNLİK

Öğrenilen konu ile ilgili bir ders saatinde laboratuvarda ya da sınıfta uygulanabilecek ve kavramayı artıracak öğrenme faaliyeti olarak verilmiştir.

## Unutmayalım



Öğrenilecek konuya/konulara yönelik bazı bilgilerin unutulmaması amacıyla verilmiştir.

## Biliyor musunuz?



Öğrenilecek konuya/konulara yönelik ilgi çekici bilgiler verilmiştir.

## Düşünelim



Öğrenilecek konuya/konulara yönelik kısa bilgiler verilmiştir.

## Araştıralım



Öğrenilecek konuya/konulara yönelik beyin fırtınası yapılması ve ilginç durumların araştırılması için verilmiştir.

## OKUMA PARÇASI

Öğrenilen konuyu/konuları destekleyecek nitelikte ve merak edilen konularla ilgili okuma metni verilmiştir.

## Uyarı



Öğrenilecek konuya/konulara yönelik bazı bilgiler uyarı niteliğinde verilmiştir.

## Bilgi Notu



Öğrenilecek konuya/konulara yönelik kısa bilgiler verilmiştir.

## Hatırlatma



Öğrenilecek konuya/konulara yönelik bazı bilgilerin hatırlatılması amacıyla verilmiştir.

# 1. ÜNİTE MODERN ATOM TEORİSİ

1 > ATOMUN KUANTUM MODELİ

2 > PERİYODİK SİSTEM VE ELEKTRON DİZİLİMLERİ

3 > PERİYODİK ÖZELLİKLER

4 > ELEMENTLERİ TANIYALIM

5 > YÜKSELTGENME BASAMAKLARI

## Anahtar Kavramlar

atom, atom modeli, Aufbau Prensibi, değerlik elektronu, değerlik orbital, elektron dizilimi, elektron ilgisi, elektronegatiflik, enerji düzeyi (katman), Hund Kuralı, iyonlaşma enerjisi, kuantum sayıları, küresel simetri, orbital (dalga fonksiyonu), Pauli İlkesi, periyodik sistem, teori, yörünge, yükseltgenme basamağı

## Ünitede

Karanlığı aydınlatan havai fişeklerin oluşturduğu renklerin birçoğu atomların yaydığı ışınlardan kaynaklanır. Örneğin kırmızı stronsiyum, turuncu kalsiyum, sarı sodyum, yeşil baryum ve mavi bakır atomunun yaydığı ışınların oluşturduğu renklerdendir. Atomların tıpkı parmak izi gibi kendine özgü yaydığı bu ışınlar sadece modern atom teorisinin sunduğu atomun kuantum modeli ile açıklanabilir.

Modern atom teorisi, elektronların kimyada oynadıkları kritik rolün anlaşılmasına ve öngörülmesine imkân sağlar.

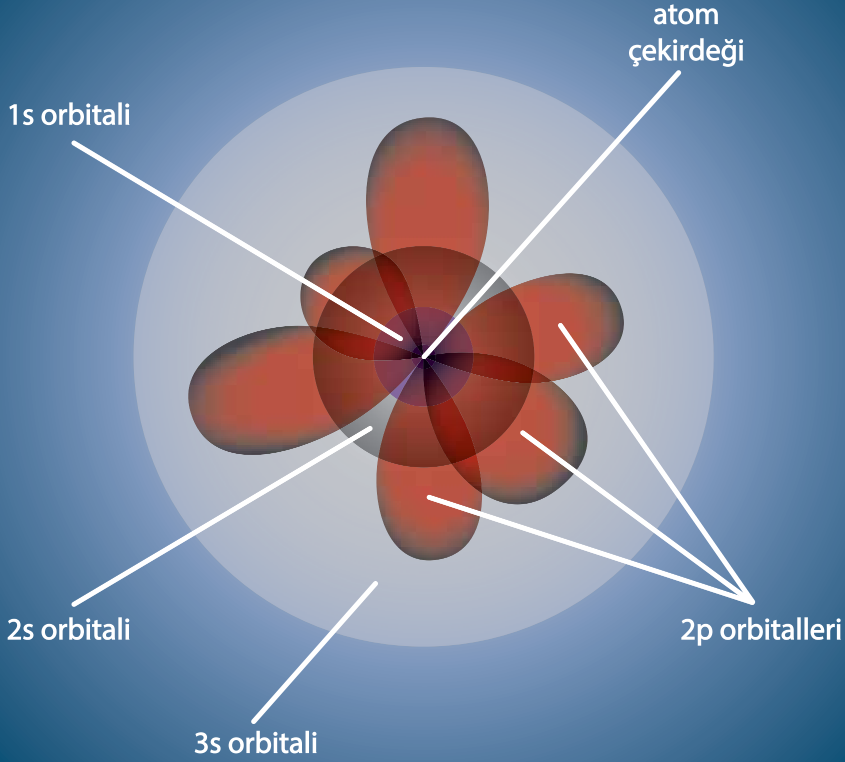
**ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI**

**1.** Bir atomda elektronlar nerede bulunabilir? Açıklayınız.

**2.** Atomların elektron dizilimlerinin hangi kural/ilke/prensibe göre yazıldığını araştırınız.

# 1. Bölüm

## ATOMUN KUANTUM MODELİ




### Konular

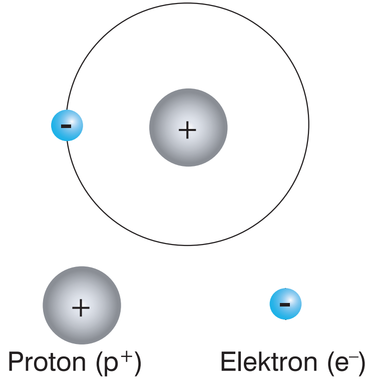


### Bölümde

20. yüzyılın başlarında bilim insanları, atomların yapısını tanımlamak için 17. yüzyılda Isaac Newton (Ayzek Nivton) tarafından önerilen ve hareket yasalarını içeren klasik fizik yasalarının kullanılabileceğini zannettiler. Çünkü klasik fizik yasaları makroskobik dünyada toplar ve gezegenler gibi görünür nesnelerin hareketini tanımlamada oldukça başarılıydı. Oysa klasik fizik yasaları, mikroskobik dünyada gözlenemeyen atomlardaki elektronlara uygulandığında, elektronların hareketini açıklamada başarısızdı.

Bilim insanları, yaptıkları deneysel çalışmalarda elektronun çok küçük dünyasının, gözlemlerin yapıldığı bu büyük dünyadan farklı davrandığını keşfettiler. Bu farklılıklardan en önemlisi, atomun kuantum modeli ile açıklanabilen ve gözlenemeyen elektron gibi çok küçük taneciklerin aynı anda iki farklı yerde olabileceği düşüncesidir.

## 1.1.1 BOHR ATOM MODELİNİN SINIRLILIKLARI



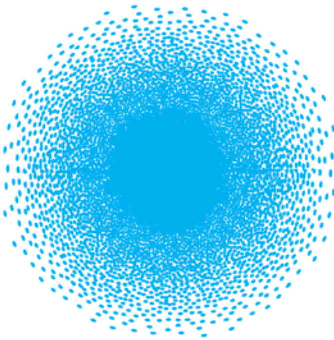

*Şekil 1.1.1:* Bohr atom modeline göre hidrojen atomu

Bilimde, deneysel sonuçların önce elde edildiği, sonra sonuçları açıklamak için bir teorinin geliştirildiği sıklıkla gözlenir. 1885 yılında, parmak izi gibi hidrojenin kendine özgü bir çizgi spektrumunun varlığının keşfedilmesine rağmen hidrojenin çizgi spektrumlarını açıklamaya yönelik atomun yapısı hakkında bir teori onlarca yıl geliştirilememişti.

1913 yılında Niels Bohr (Nils Bor), hidrojenin çizgi spektrumuna dayanarak bir atom modeli önerdi. Bu modele göre hidrojen atomunu, tıpkı Güneş'in etrafında belirli yörüngede hareket eden bir gezegen gibi pozitif yüklü küçük bir çekirdeğin etrafında belirli yörüngede hareket eden bir elektronun bulunduğu atom olarak tarif etti (Şekil 1.1.1).

Bohr atom modeli, tek elektronlu hidrojen atomunun yapısını ve elektronun davranışını başarıyla açıklamaktadır. Hidrojen atomundan başka $_2He^+$, $_3Li^{2+}$ gibi tek elektronlu iyonların davranışlarının açıklanmasında da başarılıdır. Ancak bu başarılarının yanında deney ve gözlemlerden elde edilen bulguları açıklamada sınırlılıkları da vardır. Örneğin çok elektronlu atom ve iyonların çizgi spektrumlarının Bohr atom modeli ile açıklanamayacağını göstermiştir. Çünkü çok elektronlu atom ve iyonlarda, elektronların çekirdekle ve birbirleriyle elektriksel ve manyetik etkileşimi dikkate alınmamaktadır.

Günümüzde kabul gören modern atom teorisine (bulut modeline) göre elektron devamlı olarak hızla hareket ettiğinden elektron yükünün bir yük bulutu hâlinde dağılmış bulunduğu varsayılır. Bu bulut bazı bölgelerde daha yoğundur. Elektronun belirli bir bölgede bulunma olasılığı o noktadaki yük bulutunun yoğunluğu ile orantılıdır. Elektron bulutunun yoğun olduğu bölgelerde bu olasılık yüksektir. Örneğin hidrojen atomunun bir elektronu için yük bulutu atom çekirdeğine yakın bölgede en yoğundur. Atom çekirdeğinden uzaklaştıkça bu yük yoğunluğu azalır (Şekil 1.1.2). Modern atom teorisinde, Bohr atom modelinin aksine elektronun izlediği yol tanımlanmaya çalışılmaz, sadece elektronun bulunma olasılığının yüksek olduğu bölgelerden söz edilir.



*Şekil 1.1.2:* Modern atom teorisine göre hidrojen atomunun bulut modeli

Bohr atom modelinin sınırlılıkları olmakla birlikte bu model, hiç şüphesiz özünde bilim sevgisini yaşatan, bilimi anlayan ve bilime önem veren, bilimsel düşünceyi benimseyerek hayatlarının her alanında bilimsel düşünceye dayalı kararlar verme alışkanlığı kazanmış diğer bilim insanlarına atomun yapısının aydınlatılmasında yeni ufuklar açmıştır.

### 1.1.2 ORBİTAL KAVRAMI

1924 yılında Louis de Broglie (Luis dö Brogli, Resim 1.1.1), elektron gibi taneciklerin dalga özelliği gösterebileceği hipotezini ileri sürmüştü. Çünkü de Broglie, hipotezinden yıllar önce Albert Einstein'ın (Albert Aynştayn), maddenin ve enerjinin birbirine dönüşebileceğini ileri sürdüğü "$E = m \cdot c^2$" eşitliği ile Max Planck'ın (Maks Plank) ışığın enerjisinin frekansı ile ilişkilendirildiği "$E = h \cdot \upsilon = h \cdot c / \lambda$" eşitliğini bir arada düşündüğünde dalgaların tanecik, taneciklerin de dalga özelliği gösterebileceği sonucuna ulaşmıştı. De Broglie bu iki eşitlikten elektronlar gibi hareketli tanecikler için ışığın hızını ifade eden "c" sembolü yerine taneciğin hızını ifade eden "$\vartheta$" sembolünü yazarak "$\lambda = h / m \cdot \vartheta$" eşitliğini elde etti. Burada elektron gibi hareketli bir tanecik için "$\lambda$", "h", "m" ve "$\vartheta$" sembolleri sırası ile dalga boyunu, planck sabitini, kütleyi ve hızı belirtmektedir.



***Resim 1.1.1:*** Louis de Broglie (1892-1987)

1927 yılında Werner Heisenberg (Vernır Hayzınberg, Resim 1.1.2), elde ettiği deneysel verilere göre elektronun davranışında daima bir belirsizliğin olması gerektiği sonucuna vararak belirsizlik ilkesini ileri sürdü. **Heisenberg Belirsizlik İlkesi**'ne göre *"Bir taneciğin hem yeri hem de hızı aynı anda kesin olarak belirlenemez."*



***Resim 1.1.2:*** Werner Heisenberg (1901-1976)

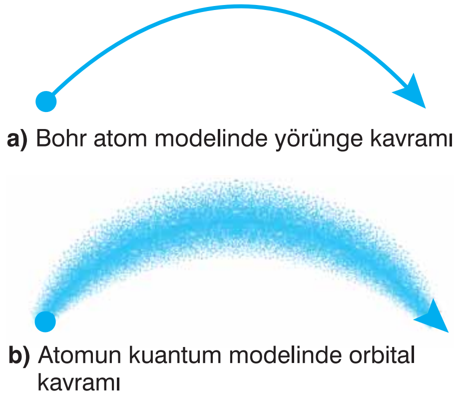
Elektronun yeri ve hızının aynı anda ölçülmesi mümkün olmasa da elektronun muhtemel konumu, dalgayı temsil eden fonksiyondan bulunabilirdi. 1926 yılında Erwin Schrödinger (Örvin Şırodinger, Resim 1.1.3) dalga özelliğine sahip elektron gibi küçük taneciklerin enerjilerini ve genel davranışlarını ifade eden matematiksel denklemler geliştirdi. Denklemlerinde elektron gibi küçük taneciklerin hem kütle (m) ile ifade edilen tanecik davranışlarını hem de dalga fonksiyonu ($\Psi$, psi) ile ifade edilen dalga davranışını birleştirdi.

Schrödinger, dalga fonksiyonlarını tek elektronlu hidrojen atomu ve iyonlar için matematiksel denklemlerle bulmuştur. Atomun kuantum modelinde, tek elektronun hareketini tanımlamak için üç koordinat gerektiğinden bu dalga fonksiyonları n, $\ell$ ve $m_\ell$ olmak üzere üç kuantum sayısı ile karakterize edilir. Kuantum sayıları elektronun atomdaki enerji düzeylerine göre konumunu belirler.

Bohr'un atom modelindeki yörünge kavramı ile atomun kuantum modelindeki orbital kavramını ayırt etmek önemlidir. Bohr'un atom modelindeki yörünge, elektronun nerede bulunabileceğine ilişkin belirli bir bölgeyi tanımlar. Bir elektronun yörüngesinin belirlenebilmesi için hem konumunun hem de hızının bilinmesi gereklidir. Atomun kuantum modelindeki orbital ise Heisenberg'in



***Resim 1.1.3:*** Erwin Schrödinger (1887-1961)



**a)** Bohr atom modelinde yörünge kavramı

**b)** Atomun kuantum modelinde orbital kavramı

***Şekil 1.1.3:*** Yörünge ve orbital kavramlarının karşılaştırılması
**a)** Bohr atom modelinde elektron belirli bir yörüngededir.
**b)** Atomun kuantum modelinde elektronun büyük olasılıkla bulunabileceği yerlerden bahsedilebilir. Koyu mavi bölgeler daha yüksek olasılığı ifade eder.

Belirsizlik İlkesi'ne göre bir elektronun konumu hakkında asla kesin bilgi vermez. Ancak elektronun çoğunlukla nerede bulunabileceğine ilişkin olasılığı verir (Şekil 1.1.3).

Kimya, genellikle laboratuvarda sorgulamaya dayalı öğrenmeyi içeren bir bilim dalıdır. Bununla birlikte atomun kuantum modeli gibi soyut kavramlara dayalı bazı konuların açıklanması ve anlaşılması yeni öğrenme ortamlarının oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Bu tür konuları öğrenme yaklaşımlarında alternatif bir yol ve etkili bir araç olarak bilişim teknolojilerinin (animasyon, simülasyon, video vb.) kullanılması yararlı olacaktır.

## 1.1.3 KUANTUM SAYILARI İLE ORBİTALLER ARASINDAKİ İLİŞKİ

Atomun kuantum modelinde, hidrojen ve diğer atomlardaki elektron dizilimlerini açıklayabilmek için kuantum sayıları gereklidir. Bu kuantum sayıları; baş kuantum sayısı, açısal momentum kuantum sayısı ve manyetik kuantum sayısı olarak adlandırılır.

Bilim insanları bu üç kuantum sayısının değerine bağlı olmayan fakat atomdaki bir elektronun davranışını açıklayan dördüncü bir kuantum sayısına daha gerek olduğunu belirtmişlerdir. Bu kuantum sayısı da spin (dönme) kuantum sayısıdır.

**Baş kuantum sayısı:** "n" sembolü ile gösterilir. 1, 2, 3, 4,... gibi tam sayılarla ifade edilir. Bu sayılar, elektronun bulunduğu katmanı yani enerji düzeyini belirtir. Aynı baş kuantum sayısına sahip elektronlar aynı katmandadır. Baş kuantum sayısının değeri arttıkça katman sayısı artar. Dolayısıyla elektronun çekirdekten ortalama uzaklığı da artar.

**Açısal momentum kuantum sayısı:** "$\ell$" sembolü ile gösterilir. Açısal momentum kuantum sayısı orbital türlerini ve şekillerini belirtir. Bu kuantum sayısının alabileceği değerler, baş kuantum sayısı n'nin sayısal değerine bağlıdır. $\ell$ değeri, 0 ile $n - 1$ arasında değerler alır. $\ell$'nin alabileceği sayısal değerleri örneklerle açıklayalım.

$n = 1$ olduğunda $\ell = n - 1$ yani $\ell = 1 - 1$ olacağından $\ell = 0$ olur. $\ell$ sadece 0 değerini alır.

$n = 2$ olduğunda $\ell = n - 1$ yani $\ell = 2 - 1$ olacağından $\ell = 1$ değerini alır. $\ell$'nin 0, 1 olmak üzere iki değeri vardır.

$n = 3$ olduğunda $\ell = n - 1$ yani $\ell = 3 - 1$ olacağından $\ell = 2$ değerini alır. $\ell$'nin 0, 1, 2 olmak üzere üç değeri vardır.

n = 4 olduğunda $\ell$ = n – 1 yani $\ell$ = 4 – 1 olacağından $\ell$ = 3 değerini alır. $\ell$'nin 0, 1, 2, 3 olmak üzere dört değeri vardır.

Açısal momentum kuantum sayısının her bir değeri, alt enerji düzeyindeki bir orbital türüne karşılık gelir. Orbital türleri s, p, d, f,… gibi sembollerle gösterilir. Buna göre $\ell$ = 0, s orbitaline; $\ell$ = 1, p orbitaline; $\ell$ = 2, d orbitaline, $\ell$ = 3 ise f orbitaline karşılık gelir.

| $\ell$ değeri | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| Orbital türü | s | p | d | f |

**Manyetik kuantum sayısı:** "$m_\ell$" sembolü ile gösterilir. Orbitalin uzayda yönlenmesini belirtir. Manyetik kuantum sayısının alabileceği sayısal değerler, açısal momentum kuantum sayısı $\ell$'nin sayısal değerine bağlıdır. Manyetik kuantum sayısı $-\ell$ ile $+\ell$ arasında sayısal değerler alır. Açısal momentum kuantum sayısı $\ell$ olan bir alt enerji düzeyinde toplam $2\ell + 1$ tane orbital bulunabilir. $m_\ell$'nin alabileceği sayısal değerleri örneklerle açıklayalım.

$\ell$ = 0 olduğunda, $m_\ell$ değeri 0 olur. Bir tane s orbitaline karşılık gelir.

$\ell$ = 1 olduğunda, $m_\ell$ değeri –1, 0, +1 olmak üzere üç değer alır. Üç tane p orbitaline karşılık gelir.

$\ell$ = 2 olduğunda, $m_\ell$ değeri –2, –1, 0, +1, +2 olmak üzere beş değer alır. Beş tane d orbitaline karşılık gelir.

$\ell$ = 3 olduğunda, $m_\ell$ değeri –3, –2, –1, 0, +1, +2, +3 olmak üzere yedi değer alır. Yedi tane f orbitaline karşılık gelir.

Kuantum sayıları ve atom orbitalleri arasındaki ilişki Tablo 1.1.1'de verilmiştir. İnceleyiniz.

**Uyarı**

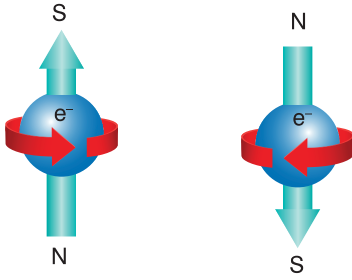


*Açısal kuantum sayısı* $\ell$ = 0 olan bir alt enerji düzeyinde toplam $2\ell + 1$ tane orbital bulunabileceğinden manyetik kuantum sayısının değeri; $2\ell + 1 = 2 \cdot 0 + 1 = 1$'dir.

Manyetik kuantum sayısının 1 değeri $-\ell$ ile $+\ell$ arasında sayısal değerler alan manyetik kuantum sayısının 0 değerine karşılık gelir.

*Tablo 1.1.1:* Kuantum sayıları ve orbitaller arasındaki ilişki

| Baş kuantum sayısı (n) | Açısal momentum kuantum sayısı ( $\ell$ ) | Manyetik kuantum sayısı ( $m_\ell$ ) | Orbital türü | Orbital sayısı | Orbitalin gösterimi |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | s | 1 | 1s |
| 2 | 0 | 0 | s | 1 | 2s |
| | 1 | –1, 0, +1 | p | 3 | 2p |
| 3 | 0 | 0 | s | 1 | 3s |
| | 1 | –1, 0, +1 | p | 3 | 3p |
| | 2 | –2 , –1, 0, +1, +2 | d | 5 | 3d |
| 4 | 0 | 0 | s | 1 | 4s |
| | 1 | –1, 0, +1 | p | 3 | 4p |
| | 2 | –2, –1, 0, +1, +2 | d | 5 | 4d |
| | 3 | –3, –2, –1, 0, +1, +2, +3 | f | 7 | 4f |




*Şekil 1.1.4:* Elektronun spinleri

Elektronlar, bir eksen etrafında dönen çok küçük yüke sahip küreler gibi davranır. Elektronların bu spinleri (kırmızı oklar) küçük bir manyetik alan (yeşil oklar) oluşumuna yol açar. Bu da +1/2 veya –1/2 değerlerinden birine sahip $m_s$ ile gösterilen dördüncü bir kuantum sayısını ortaya çıkarır.

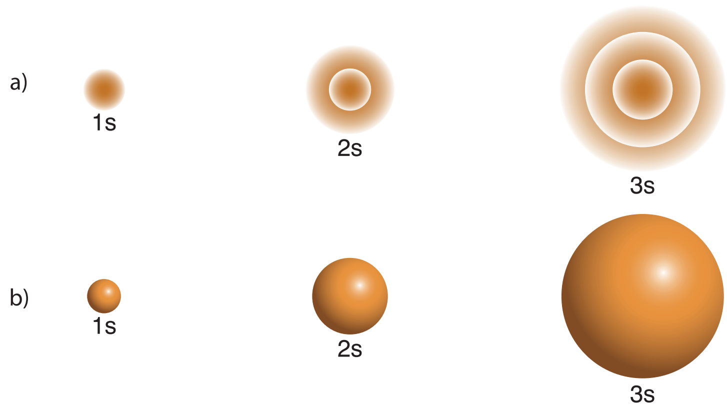
**Spin (dönme) kuantum sayısı:** "$m_s$" sembolü ile gösterilir. Spin kuantum sayısı yalnızca olası iki değere sahip olabilir. Bunlar +1/2 ve –1/2 değerleridir. Elektronun dönme yönlerinin zıt olduğunu belirtmek için orbitalde, +1/2 yukarı ok (↑), –1/2 aşağı ok (↓) şeklinde gösterilir (Şekil 1.1.4).

Sonuç olarak bir atomdaki her bir elektronu tanımlamak için dört kuantum sayısının (n, $\ell$, $m_\ell$ ve $m_s$) belirtilmesi gerekir. Elektron, bu dört kuantum sayısının belirlediği tek bir enerji düzeyinde bulunur.

## 1.1.4 ÇOK ELEKTRONLU ATOMLARDA ORBİTALLERİN ENERJİ SEVİYELERİ

Atom orbitallerinin özellikleri incelenirken şu önemli soru ile karşılaşılır: Orbitallerin şekilleri nasıldır? Aslında orbitallerin şekilleri tam olarak tanımlanabilmiş değildir. Çünkü orbitaller atom çekirdeğinden sonsuza kadar uzanabilir. Bu bakımdan bir orbitalin neye benzediğinin tam olarak ifade edilmesi zordur. Buna rağmen atomlar arasındaki kimyasal bağ oluşumlarını açıklarken belirli şekilleri ve uzayda yönelişlerinin olduğu varsayılır. Burada s, p ve d orbitallerinin özelliklerine ve şekline ilişkin açıklamalara yer verilecektir. f orbitalleri, diğer orbitallere göre daha karmaşık olduğundan burada yalnızca özelliklerine ilişkin açıklamalara yer verilecektir.

**s orbitalleri:** n = 1 enerji düzeyinde başlar. Şekil 1.1.5'te de görüldüğü gibi n = 1 enerji düzeyindeki 1s orbitali, çekirdek çevresindeki elektronun yaklaşık %90 olasılıkla bulunabileceği bölgeyi içeren bir sınır yüzey diyagramı ile gösterilebilir. n = 2 ve n = 3 enerji düzeylerindeki sırasıyla 2s ve 3s orbitalleri de aynı n = 1 enerji düzeyindeki 1s orbitalinin sınır yüzey diyagramı gibi gösterilir. s orbitalleri farklı boyutlardaki küresel şekillere sahiptir. Baş kuantum sayı arttıkça s orbitallerinin boyutları da artar. s orbitalleri en fazla 2 elektron alabilir.



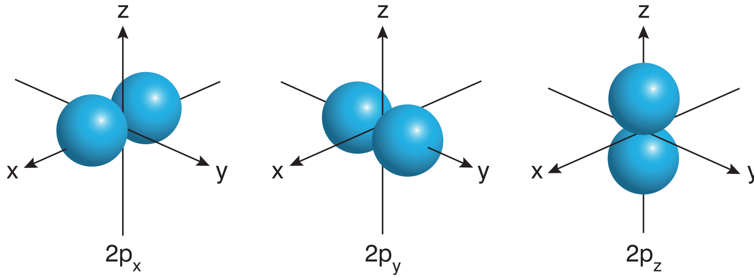

*Şekil 1.1.5:* 1s, 2s ve 3s orbitallerinin **a)** Elektron yoğunluğu **b)** Sınır yüzey diyagramları

### Bilgi Notu

*Elektron yoğunluğunun (elektron bulutunun) en yüksek olduğu yerler çekirdeğe en yakın yerlerdir. Ancak çekirdekten uzak mesafelerde de düşük yoğunlukta elektron bulunabilmektedir. s orbitalini bir bulut şeklinde çizmek yerine genellikle bu bulutu çevreleyen sınır yüzey diyagramı olarak adlandırılan bir yüzey çizilir. Sınır yüzey diyagramı daha kolay çizilmesine rağmen bir atomun en iyi görüntüsünü vermez. Bir atom belirsiz sınırlara sahiptir ve sınır yüzey diyagramında gösterildiği gibi pürüzsüz değildir.*

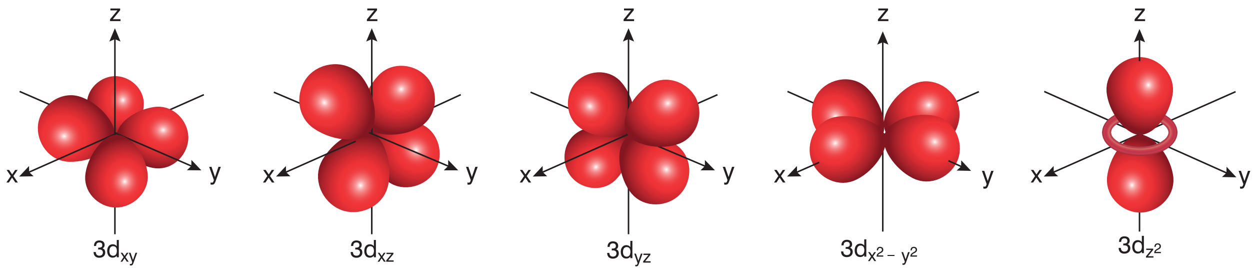


**p orbitalleri:** n = 2 enerji düzeyinde başlar. n = 2 olduğunda $\ell$ = 1, $m_\ell$ ise –1, 0, +1 değerlerini alır. Bu durumda uzayda x, y ve z koordinatlarında, birbirlerine dik olarak yönelen ve birbiriyle özdeş üç tane p orbitali bulunur. Bu orbitaller $p_x$, $p_y$ ve $p_z$ orbitalleridir. Şekil 1.1.6'da da görüldüğü gibi p orbitallerinin sınır yüzey diyagramları, birbirine zıt olarak merkezden düğümlenmiş şekildedir. Baş kuantum sayısı arttıkça p orbitallerinin boyutları da artar. p orbitalleri en fazla 6 elektron alabilir.




*Şekil 1.1.6:* 2p orbitallerinin sınır yüzey diyagramları

**d orbitalleri:** n = 3 enerji düzeyinde başlar. n = 3 olduğunda $\ell$ = 2, $m_\ell$ ise –2, –1, 0, +1, +2 değerlerini alır. Bu durumda uzayda x, y ve z koordinatlarında, farklı şekilde yönelen, bir tanesi farklı gibi görünse de birbiriyle özdeş beş tane d orbitali bulunur. Bu orbitaller $d_{xy}$, $d_{xz}$, $d_{yz}$, $d_{x^2-y^2}$ ve $d_{z^2}$ orbitalleridir. Şekil 1.1.7'de de görüldüğü gibi d orbitallerinden $d_{xy}$, $d_{xz}$ ve $d_{yz}$ orbitalleri simetrik eksenleri üzerinde, $d_{x^2-y^2}$ ve $d_{z^2}$ orbitalleri ise koordinat eksenleri üzerinde yer alır. Baş kuantum sayısı arttıkça d orbitallerinin de boyutları artar.



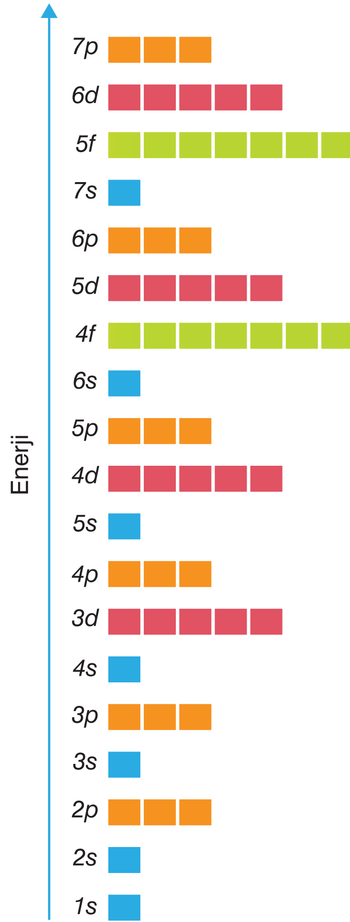

*Şekil 1.1.7:* 3d orbitallerinin sınır yüzey diyagramları

**f orbitalleri:** n = 4 enerji düzeyinde başlar. n = 4 olduğunda $\ell$ = 3, $m_\ell$ ise –3, –2, –1, 0, +1, +2, +3 değerlerini alır. Bu durumda uzayda x, y ve z koordinatlarında, birbirleriyle özdeş 7 tane f orbitali bulunur. f orbitalleri en fazla 14 elektron alabilir.

## Biliyor musunuz?

*Bazı atom orbitalleri halter, bazıları ise üç boyutlu yonca yaprağı şeklindedir. Atom hacminin büyük bir çoğunluğu bu orbitallerdeki dağınık elektronların bulunduğu boşluktan oluşur. Fakat atomlar bütün orbitallerinin üst üste gelmesiyle aşağı yukarı küresel bir şekil oluşturduklarından sıklıkla küre şeklinde tasvir edilir.*






*Şekil 1.1.8:* Çok elektronlu atomlarda orbitallerin enerji düzeyleri

Schrödinger, denklemini tek elektronlu hidrojen atomu ve iyonlar için geliştirmişti. Hidrojen atomundaki tek elektronun enerjisi sadece baş kuantum sayısına (n) bağlıdır. Her bir enerji düzeyindeki orbitallere ait elektronun bulunma olasılığı farklı olmasına rağmen, elektron bir enerji düzeyindeki orbitallerden hangisinde yer alırsa alsın aynı enerjiye sahiptir.

Schrödinger'in geliştirdiği denklemler çok elektronlu atomlara uygulandığında, tek elektronlu hidrojen atomu ve iyonlar için geliştirilen denklemlerden farklılık gösterir. Bu farklılık Şekil 1.1.8'de de görüldüğü gibi orbitallerin enerji düzeylerinin sıralanmasındaki farklılıktır. Çok elektronlu atomlarda orbitallerin enerjileri, baş kuantum sayısının (n) yanı sıra açısal momentum kuantum sayısına ($\ell$) da bağlıdır. Orbitallerin enerji düzeyleri $n + \ell$ değerinin artmasıyla artar. Örneğin n değerleri farklı, $\ell$ değerleri aynı olan 1s, 2s, 3s ve 4s orbitallerinin enerji düzeyleri 1s < 2s < 3s < 4s şeklindedir. Baş kuantum sayısı arttıkça s orbitallerinin enerji düzeyleri artar. n değerleri aynı, $\ell$ değerleri farklı olan 3s, 3p ve 3d orbitallerinin enerji düzeyleri de 3s < 3p < 3d şeklindedir. $\ell$ değeri arttıkça bu orbitallerin enerji düzeyleri artar. $n + \ell$ değeri aynı olan 3d, 4p ve 5s orbitallerinin enerji düzeyleri 3d < 4p < 5s şeklindedir. n değeri arttıkça bu orbitallerin enerji düzeyleri de artar. Orbitallerdeki bu enerji düzeylerinin farklılığı atom çekirdeği ile orbitallerde bulunan elektronlar arasındaki çekim kuvvetlerinin yanında elektronlar arasındaki itme kuvvetlerinden de kaynaklanır.

### Örnek 1

**n = 3 enerji düzeyinde toplam orbital sayısı kaçtır?**

### Çözüm 1

$n = 3$ için $\ell = 0, 1, 2$ değerlerini alır.

$\ell = 0$ olduğunda $m_\ell$ değeri 0 olmak üzere bir değer alır. 1 tane s orbitaline karşılık gelir.

$\ell = 1$ olduğunda $m_\ell$ değeri $-1, 0, +1$ olmak üzere üç değer alır. 3 tane p orbitaline karşılık gelir.

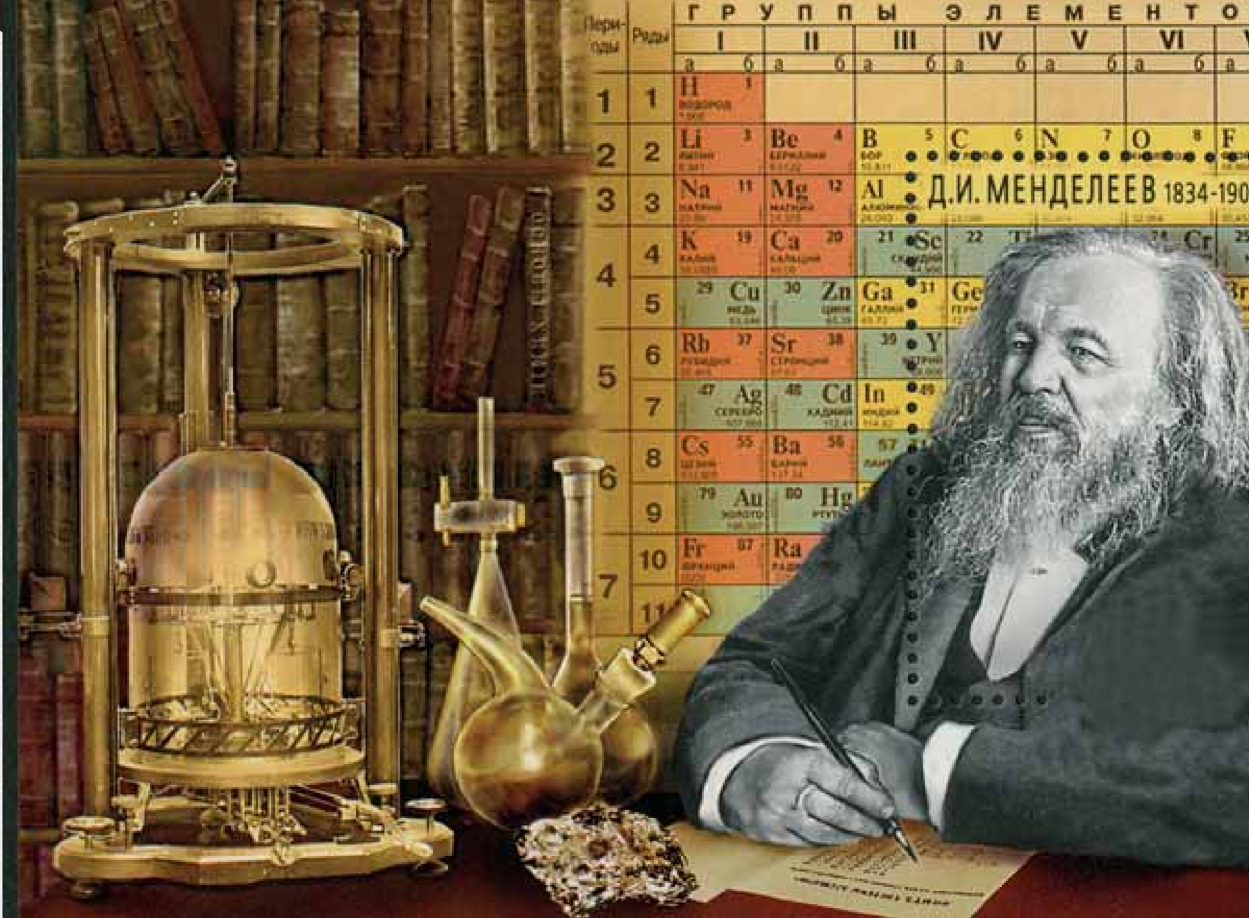
$\ell = 2$ olduğunda $m_\ell$ değeri $-2, -1, 0, +1, +2$ olmak üzere beş değer alır. 5 tane d orbitaline karşılık gelir.

Toplam orbital sayısı $= 1 + 3 + 5 = 9$ tanedir.

### Alıştırma 1

**4d alt enerji düzeyindeki orbitallerin n, $\ell$ ve $m_\ell$ değerlerini bulunuz.**

# 2. Bölüm PERİYODİK SİSTEM VE ELEKTRON DİZİLİMLERİ




## Konular

**1.2.1** Elektron Dizilimleri

**1.2.2** Elektron Dizilimleri İle Periyodik Tablodaki Blok İlişkisi

## Bölümde

Periyodik tablo, kimyada dikkate değer önemli başarılardan biridir. Bu tablonun oluşturulması, başta Dmitriy Mendeleyev (Dimitri Mendeleev), Lothar Meyer (Loter Mayer) ve Henry Moseley (Henri Mozili) olmak üzere uzun yıllar bilim insanlarının çalışmasıyla elde edilen bilgilerin derlenmesi sonucunda bilimsel bir keşfin nasıl ortaya çıkacağına dair iyi bir örnektir.

Önceki bölümde bahsedilen atomun kuantum modeli, periyodik tablonun altında yatan nedenleri açıklayan bir modeldir. Atomun kuantum modeli, periyodik tablodaki düzeni, atomdaki elektronların orbitallere nasıl yerleştiğiyle, yani elektron dizilimleriyle ilişki kurarak açıklar. Periyodik tablonun temeli, elektron dizilimindeki eğilimleri ve benzerlikleri yansıtır. Periyodik tabloda yer alan elementlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki birçok eğilimin, element atomlarının elektron diziliminden kaynaklandığı görülür.

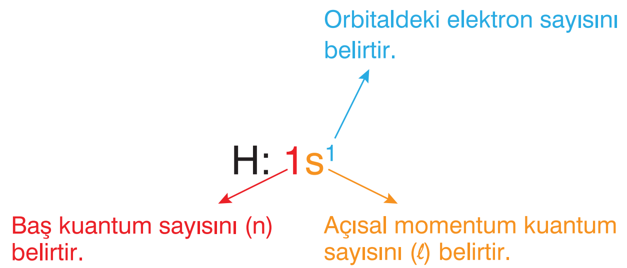
## 1.2.1 ELEKTRON DİZİLİMLERİ

Biliyor musunuz? 

*Bir kişinin adresinin ülke, şehir, mahalle ve sokak ile belirtilmesi gibi dört kuantum sayısı da bir elektronun atom içindeki adresi olarak kabul edilebilir.*

Periyodik tablonun, "kimyacının iyi bir dostu" olduğu söylense herhâlde abartılı bir ifade olmaz. Çünkü nasıl ki bir insan sevdiği, güvendiği ve dost bildiği birisinin yardımına ihtiyaç duyarsa bir kimyacı da atomların elektron dizilimlerine ilişkin birçok soruyu cevaplandırmak için periyodik tabloya ihtiyaç duyar.

Elektron dizilimi, bir atomdaki elektronların orbitallere ne şekilde yerleştiğini gösteren bir dizilimdir. Temel hâldeki hidrojen atomuna ait bir elektronun s orbitalinde gösterimi aşağıdaki gibidir:




Elementlerin kimyasal özellikleri ile bir atomun elektron dizilimi arasındaki anahtar bağlantı atomun dış katmanındaki elektronlarda yatmaktadır. Bir atomun kimyasal bağ oluşumuna katılan dış katmanındaki elektronlarına **değerlik elektronları**, değerlik elektronlarının bulunduğu orbitallere ise **değerlik orbitalleri** denir.

Uyarı 

*Bir orbitale ikiden fazla elektron yerleşemez. İki elektrondan birinin spini yukarı ok yönünde (↿) ise diğerinin spini aşağı ok yönünde (⇂) olmalıdır. Bir orbitalde eşleşmiş spinler yukarı ve aşağı ok yönünde (⇅) gösterilir.*

Elektron dizilimi, elektronun spinini de gösteren orbital şeması ile gösterilebilir. Orbital şemasında boş bir orbital □ veya ◯, bir elektronu bulunan orbital [↿] veya (↿), iki elektronu bulunan orbital [⇅] veya (⇅) şeklinde gösterilir.

Çok elektronlu atomlarda elektronlar mümkün olduğunca eşleşmemiş elektrona sahip olma eğilimindedir. Bunun nedeni aynı elektriksel yüke sahip elektronların birbirlerinden olabildiğince uzakta olmaya çalışmalarıdır. Bu durum, Hund Kuralı ile ifade edilir. **Hund Kuralı**'na göre *"Bir atomdaki elektronlar eş enerjili orbitallere önce birer birer dağılır. Sonra her bir orbitaldeki elektronlar ikiye tamamlanır."*

Spin kuantum sayısının önemi, çok elektronlu atomlarda elektronlar belirli orbitallere yerleştiğinde ortaya çıkar. Bu durum Pauli İlkesi ile ifade edilir. **Pauli İlkesi**'ne göre *"Bir atomda aynı dört kuantum sayısına sahip iki elektron olamaz."* Diğer bir ifadeyle bir atomda dört kuantum sayısının belirli değerlerine karşı gelen enerji durumu ancak bir kez mümkündür. Yani bir atomun iki elektronu da aynı n, $\ell$ ve $m_\ell$ değerlerine sahip olsa da bu iki

elektronun $m_s$ değeri farklıdır. $m_s$ kuantum sayıları yukarı yönde olan için +1/2, aşağı yönde olan için –1/2 değerini alır.

Çok elektronlu atomlarda elektronlar enerji düzeylerine Aufbau Prensibi'ne göre dağılır. **Aufbau Prensibi**'ne göre "*Elektronlar orbitallere en düşük enerji düzeyinden başlayarak en yüksek enerji düzeyine doğru dağılır.*" Aufbau İlkesi temel hâl için geçerlidir.

Elektronların orbitallere dağılım sırası, spektroskopik ve manyetik yöntemler başta olmak üzere, bazı deneysel çalışmalar sonucu ortaya çıkarılmıştır. Elektronların orbitallere dağılımı aşağıda verilen sıra ile gerçekleşir:

1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d, 7p

Çok elektronlu atomlarda elektron dizilimini yazarken Şekil 1.2.1'den faydalanmak kolaylık sağlar. 1s orbitalinden başlayıp kırmızı ok yönünde ilerleyerek elektronlar orbitallere dağıtılır. Orbitaller hem "n" hem de "$\ell$" değerlerine bağlıdır.

Belirli bir enerji düzeyinde, alt enerji düzeylerini ve orbitallerde yer alacak en fazla elektron sayısını belirlemek için bazı kuralları göz önünde bulundurmak gerekir. Bu kurallar şunlardır:

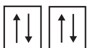
1. Baş kuantum sayısı "n" olan her enerji düzeyi, "n" tane alt enerji düzeyine sahiptir. Örneğin n = 2 için $\ell = 0$ ve $\ell = 1$ olan iki alt enerji düzeyi vardır.
2. Herhangi bir "$\ell$" değerine sahip alt enerji düzeyinde $2\ell+1$ kadar orbital vardır. Örneğin $\ell = 1$ durumunda $2\ell + 1 = 2 \cdot 1 + 1 = 3$ tane p orbitali bulunur.
3. Her orbitalde en fazla 2 elektron yer alabilir. Bu nedenle herhangi bir orbital türünde, o orbitalin alacağı en fazla elektron sayısı, orbital sayısının iki katıdır.
4. Herhangi bir enerji düzeyinin alabileceği elektron sayısı $2n^2$ kadardır.

## Örnek 2

**$_{4}Be$, $_{15}P$, $_{20}Ca$ ve $_{26}Fe$ atomlarının elektron dizilimini gösteriniz. Ayrıca bu atomların elektron dizilimlerine orbital şemasında da gösteriniz.**

## Çözüm 2

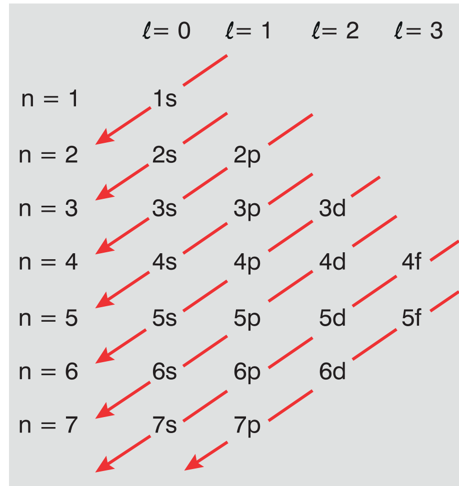
$_{4}Be$: $1s^2$ $2s^2$



## Biliyor musunuz?



*Aufbau, Almanca bir kelime olup "inşa etmek" anlamına gelir. Atomlarda elektron diziliminin nasıl inşa edileceğini gösterir.*



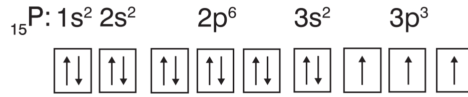

***Şekil 1.2.1:*** Elektronların orbitallere dağılım sırası

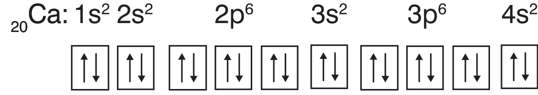
## Bilgi Notu

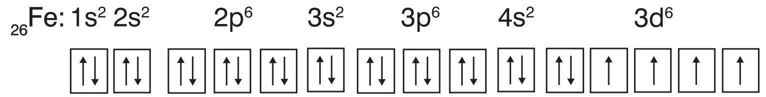


*s, p, d ve f orbitallerinde sırası ile 1, 3, 5 ve 7 elektron bulunması durumunda orbitaller yarı doludur. s, p, d ve f orbitallerinde sırası ile 2, 6, 10 ve 14 elektron bulunması durumunda ise orbitaller tam doludur.*

*Orbitallerin yarı dolu veya tam dolu olması, atoma **küresel simetri** özelliği kazandırır. Küresel simetri özelliğine sahip atomlar en az enerjilidir ve daha kararlıdır.*

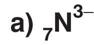
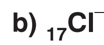


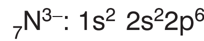

## Örnek 3

**Aşağıda verilen iyonların elektron dizilimini gösteriniz.**

**a)**  $_7N^{3-}$ **b)**  $_{17}Cl^-$ **c)**  $_{26}Fe^{2+}$ **ç)**  $_{29}Cu^+$

## Çözüm 3

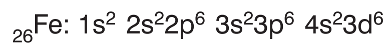
**a)** N atomunun atom numarası 7'dir. Dolayısıyla elektron sayısı da atom numarasına eşittir. $N^{3-}$ iyonu ise –3 iyon yüküne sahiptir. Yani N atomu dışarıdan üç elektron almıştır. Bu durumda $N^{3-}$ iyonunda elektron sayısı 10'dur. Buna göre $N^{3-}$ iyonunun elektron dizilimi şöyledir:


$_7N^{3-}$: $1s^2$ $2s^22p^6$

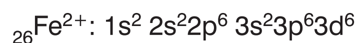
**b)** Cl atomunun atom numarası 17'dir. Dolayısıyla elektron sayısı da atom numarasına eşittir. $Cl^-$ iyonu ise –1 iyon yüküne sahiptir. Yani Cl atomu dışarıdan bir elektron almıştır. Bu durumda $Cl^-$ iyonunda elektron sayısı 18'dir. Buna göre $Cl^-$ iyonunun elektron dizilimi şöyledir:


$_{17}Cl^-$: $1s^2$ $2s^22p^6$ $3s^23p^6$

**c)** Fe atomunun atom numarası 26'dır. Dolayısıyla elektron sayısı da atom numarasına eşittir. Nötr Fe atomunun elektron dizilimi aşağıdaki gibidir:


$_{26}Fe$: $1s^2$ $2s^22p^6$ $3s^23p^6$ $4s^23d^6$

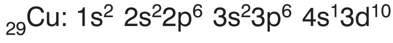
$Fe^{2+}$ iyonu ise +2 iyon yüküne sahiptir. Yani Fe atomu dışarıya iki elektron vermiştir. Bu durumda $Fe^{2+}$ iyonunda elektron sayısı 24'tür. İyonlaşma ile verilen elektronlar, elektron dizilimine katılan 3d orbitalindeki elektronlardan değil, baş kuantum sayısı en büyük olan yani enerji düzeyi en yüksek olan 4s orbitalindeki elektronlardan uzaklaşır. Bu nedenle $Fe^{2+}$ iyonunun elektron dizilimi şöyle olur:


$_{26}Fe^{2+}$: $1s^2$ $2s^22p^6$ $3s^23p^63d^6$

### Araştıralım

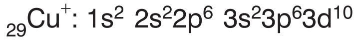
Atom numarası 24 olan krom (Cr) atomunun en yüksek enerji düzeyindeki elektron dizilim, $4s^23d^4$ yerine, $4s^13d^5$ şeklinde olmalıdır. Bunun nedenini araştırınız.

**ç)** Cu atomunun küresel simetri özelliği gösteren kararlı hâlinin elektron dizilimi aşağıdaki gibidir:



$_{29}Cu: 1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6\ 4s^1 3d^{10}$

$Cu^+$ iyonu ise +1 iyon yüküne sahiptir. Yani Cu atomu dışarıya bir elektron vermiştir. Bu durumda $Cu^+$ iyonunda elektron sayısı 28'dir. İyonlaşma ile verilen elektron, elektron dizilimine katılan ve tam dolu olan 3d orbitalindeki elektronlardan değil, baş kuantum sayısı en büyük olan yani enerji düzeyi en yüksek olan 4s orbitalindeki elektrondan uzaklaşır. Bu nedenle $Cu^+$ iyonunun elektron dizilimi şöyle olur:



$_{29}Cu^+: 1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6 3d^{10}$

**Alıştırma 2**

**Aşağıda verilen atom ve iyonların elektron dizilimini gösteriniz.**

**a)** $_{12}Mg$ **b)** $_{19}K^+$ **c)** $_{28}Ni^{2+}$ **ç)** $_{36}Kr$

## 1.2.2 ELEKTRON DİZİLİMLERİ İLE PERİYODİK TABLODAKİ BLOK İLİŞKİSİ

Periyodik tablo, elektronların bulunduğu orbital türleri esas alınarak oluşturulmuştur. Buna göre Tablo 1.2.1'de de görüldüğü gibi periyodik tablo dört bloktan oluşmaktadır. Bunlar s, p, d ve f bloklarıdır.

***Tablo 1.2.1:*** Periyodik tabloda blokların adları ve yerleri

| 1A–2A (s blok) | 3B 4B 5B 6B 7B 8B 1B 2B (d blok) | 3A 4A 5A 6A 7A 8A (p blok) |
|---|---|---|
| 1s | | 1s |
| 2s | | 2p |
| 3s | | 3p |
| 4s | 3d | 4p |
| 5s | 4d | 5p |
| 6s | 5d | 6p |
| 7s | 6d | 7p |
| | 4f | |
| | 5f | |

s blok elementleri · p blok elementleri · d blok elementleri · f blok elementleri

Bir elementin periyodik tablodaki yeri belirlenirken aşağıdaki kuralların bilinmesi gerekir:

1. Atom numarası bilinen element atomuna ait elektron dizilimi yazılır.
2. Element atomunun elektron dizilimindeki en yüksek enerji düzeyi, o elementin periyot numarasını belirtir.
3. Element atomunun en yüksek enerji düzeyindeki değerlik elektron sayısı, o elementin grubunu belirtir.
4. Elektron dizilimi s veya p orbitali ile sonlanan elementler A grubu elementidir.
5. Elektron dizilimi d orbitali ile sonlanan elementler B grubu elementidir.
6. Periyodik tablonun 4 ve 5. periyotlarında yer alan p bloktaki A grubu element atomlarının 3d ve 4d orbitalleri tam doludur ve onar elektron bulunur. Bu periyotlardaki değerlik elektronlarının tespitinde 3d ve 4d orbitallerinde bulunan onar elektron çıkarılarak değerlik elektronları hesaplanır.
7. d bloktaki B grubu element atomlarının elektron dizilimleri $d^6$, $d^7$ ve $d^8$ ile sonlanan elementler, benzer kimyasal özellikler gösterdiğinden 8B grubunda yer alır.

## Biliyor musunuz?



*Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) tarafından periyodik tablodaki grupların 1'den 18'e kadar rakamla adlandırılması önerilmiş olmasına rağmen, kimyacılar yaygın olarak grupların adlandırılmasında A ve B harflerini kullanırlar.*

Periyodik tabloda 6B grubu element atomlarının elektron diziliminin $d^4$ ile sonlanması gerekir. Ancak elementin s orbitalinde olması gereken iki elektrondan biri d orbitalindedir. Bu nedenle element atomunun elektron dizilimi $d^5$ ile sonlanır. Benzer durum 1B grubunda da görülür. 1B grubu element atomlarının elektron diziliminin $d^9$ ile sonlanması gerekir. Ancak s orbitalinde olması gereken iki elektrondan biri d orbitalinde bulunduğundan elektron dizilimi $d^{10}$ ile sonlanır.

Tablo 1.2.2'de periyodik tablonun A ve B grubunda yer alan element atomlarının en yüksek temel enerji düzeyindeki değerlik orbitalleri ve bu orbitallerde yer alan elektron sayıları verilmiştir. İnceleyiniz.

## Unutmayalım



*Tablo 1.2.2'den de görüleceği gibi,*

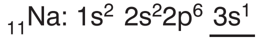
- *A gurubu elementlerinin değerlik elektron sayılarının belirlenmesinde s orbitalindeki ya da s ve p orbitallerindeki toplam elektron sayılarının alındığını,*
- *B grubu elementlerinin değerlik elektron sayılarının belirlenmesinde s ve d orbitallerindeki toplam elektron sayılarının alındığını unutmayalım.*

**Tablo 1.2.2:** A ve B grubu elementlerinin değerlik orbitalleri ve bu orbitallerdeki elektron sayıları

| 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | 6A | 7A | 8A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $s^1$ | $s^2$ | $s^2p^1$ | $s^2p^2$ | $s^2p^3$ | $s^2p^4$ | $s^2p^5$ | $s^2p^6$ |

| 3B | 4B | 5B | 6B | 7B | 8B | 1B | 2B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $s^2d^1$ | $s^2d^2$ | $s^2d^3$ | $s^1d^5$ | $s^2d^5$ | $s^2d^6$<br>$s^2d^7$<br>$s^2d^8$ | $s^1d^{10}$ | $s^2d^{10}$ |

Şimdi, atom numarası 11 olan Na atomunun elektron dizilimini yazarak periyodik tablonun hangi periyot ve blokunda yer aldığını belirleyelim. Na atomunun elektron dizilimi şöyledir:


$_{11}Na: 1s^2\ 2s^2 2p^6\ \underline{3s^1}$

Na atomunun en yüksek temel enerji düzeyinin 3 olması 3. periyotta, orbital türünün s ile sonlanması A grubunda, s orbitalindeki değerlik elektron sayısının 1 olması da 1A grubunda olduğunu gösterir. Buna göre Na elementi periyodik tablonun 3. periyot, 1A grubunda yer alır.

## Örnek 4

**Aşağıdaki elementlerin periyot ve grup numarasını belirleyiniz.**

**a)** $_{13}$**Al** **b)** $_{20}$**Ca** **c)** $_{25}$**Mn** **ç)** $_{30}$**Zn**

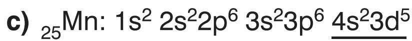
## Çözüm 4


**a)** $_{13}Al: 1s^2\ 2s^2 2p^6\ \underline{3s^2 3p^1}$

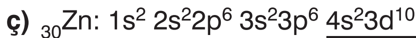
Al atomunun en yüksek temel enerji düzeyi 3'tür. p orbitali ile sonlanmıştır. Değerlik elektron sayısı 2 + 1 = 3'tür. Bu nedenle Al elementi periyodik tablonun 3. periyot, 3A grubunda yer alır.


**b)** $_{20}Ca: 1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6\ \underline{4s^2}$

Ca atomunun en yüksek temel enerji düzeyi 4'tür. s orbitali ile sonlanmıştır. Değerlik elektron sayısı 2'dir. Bu nedenle Ca elementi periyodik tablonun 4. periyot, 2A grubunda yer alır.


**c)** $_{25}Mn: 1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6\ \underline{4s^2 3d^5}$

Mn atomunun en yüksek temel enerji düzeyi 4'tür. d orbitali ile sonlanmıştır. Değerlik elektron sayısı 2 + 5 = 7'dir. Bu nedenle Mn elementi periyodik tablonun 4. periyot, 7B grubunda yer alır.


**ç)** $_{30}Zn: 1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6\ \underline{4s^2 3d^{10}}$

Zn atomunun en yüksek temel enerji düzeyi 4'tür. d orbitali ile sonlanmıştır. Değerlik elektron sayısı 12 – 10 = 2'dir. Bu nedenle Zn elementi periyodik tablonun 4. periyot, 2B grubunda yer alır.

## Alıştırma 3

**Aşağıdaki elementlerin periyot ve grup numarasını belirleyiniz.**

**a)** $_{7}$**N** **b)** $_{15}$**P** **c)** $_{18}$**Ar** **ç)** $_{22}$**Ti**

## Bilgi Notu



*Atomların değerlik elektronlarının bulunduğu en yüksek enerji düzeyinden bir alt enerji düzeyi, asal gaz elektron dizilimine sahiptir.*

*Atomların elektron diziliminin tamamı açık yazılabileceği gibi önce bir alt enerji düzeyindeki asal gaz element atomunun köşeli parantez içinde sembolü, sonra en yüksek enerji düzeyine ait elektron dizilimi yazılabilir. Örneğin lityum (Li) atomunun elektron dizilimi $_{3}Li: 1s^2\ 2s^1$ şeklindedir. $1s^2$ elektron dizilimi asal gaz helyum (He) atomunun elektron dizilimi olduğundan lityum atomunun elektron dizilimi kısaca $_{3}Li: [He]\ 2s^1$ şeklinde de yazılabilir.*

# 3. Bölüm

## PERİYODİK ÖZELLİKLER




## Konular

**1.3.1** Atom/İyon Yarıçapı Eğilimi

**1.3.2** İyonlaşma Enerjisi Eğilimi

**1.3.3** Elektron İlgisi Eğilimi

**1.3.4** Elektronegatiflik Eğilimi

**1.3.5** Metalik Ve Ametalik Eğilimi

**1.3.6** Oksit ve Hidroksit Bileşiklerinin Asitlik ve Bazlık Özellikleri

## Bölümde

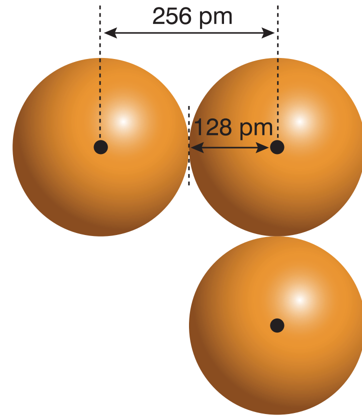
Periyodik tablo, elementlerin artan atom numaralarına göre sıralanarak oluşturulmuş bir tablodur. Dolayısıyla elementlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri de artan atom numaralarına bağlı olarak periyodik özelliklerde değişim eğilimleri gösterir. Bunlar; atom/iyon yarıçapı, iyonlaşma enerjisi, elektron ilgisi, elektronegatiflik, metalik ve ametalik, oksit ve hidroksit bileşiklerinin asitlik ve bazlık eğilimleridir.

Periyodik özelliklerin değişim eğilimlerine ilişkin bilgiler, özellikle basit bileşiklerdeki kimyasal bağların anlaşılmasında oldukça önemlidir. Örneğin erime sıcaklığı ve kaynama sıcaklığı gibi fiziksel özellikler periyodik eğilimler gösterir.

## 1.3.1 ATOM/İYON YARIÇAPI EĞİLİMİ

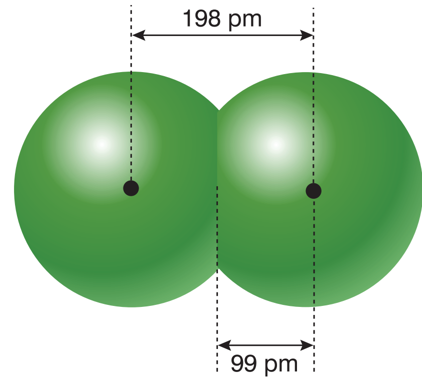
Çekirdek etrafında elektronun bulunma olasılığının %100 olduğu bölgenin sınırını belirlemek mümkün değildir. Dolayısıyla sınırı belirli olmayan tek bir atomun yarıçapı doğrudan ölçülemez ancak elektronun yoğun olarak bulunduğu bölgenin sınırını belirlemek mümkündür.

Bir atomun büyüklüğü kendi çevresiyle ve özellikle de çevresindeki atomlarla etkileşimiyle belirlenebilir. Atomlar küre gibi düşünüldüklerinde, atomların büyüklükleri de atom yarıçapı olarak ifade edilebilir. Bir elementin **atom yarıçapı**, birbirlerine komşu aynı iki atomun çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısıdır. Eğer element bir metal ise metal atomlarının yarıçapı, komşu metal atomların çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısıdır. Örneğin katı bakırda, bakır atomlarının çekirdekleri arasındaki uzaklık 256 pm (pikometre)'dir ($1\ pm = 1 \cdot 10^{-12}\ m$). Katı bakırdaki tek bir bakır atomunun yarıçapı da $256 / 2 = 128$ pm'dir (Şekil 1.3.1).

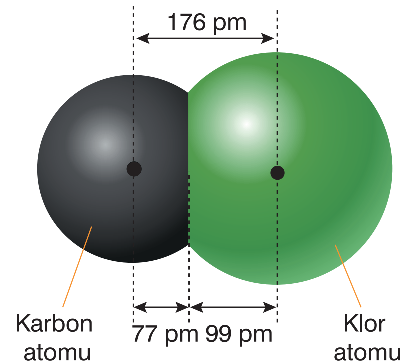



***Şekil 1.3.1:*** Katı bakırda bakır atomları

Element, bir metal yerine ametal ise kovalent yarıçaptan söz edilir. **Kovalent yarıçap**, tek bir kovalent bağ ile bağlanmış aynı ametal atomların çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısıdır. Örneğin klor molekülünde ($Cl_2$), klor atomları arasındaki uzaklık 198 pm'dir. Dolayısıyla tek bir klor atomunun kovalent yarıçapı $198 / 2 = 99$ pm'dir (Şekil 1.3.2). Kovalent bağı oluşturan atomlar farklı olduğunda, aynı ametal atomların çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısı atom yarıçapı olarak alınamaz. Çünkü atomlar farklı olduğundan yarıçapları da farklıdır. Örneğin karbon ve klor atomları arasındaki bağ uzunluğu 176 pm'dir. Klor atomunun kovalent yarıçapının 99 pm olduğu bilindiğinden, karbon atomunun kovalent yarıçapı $176 - 99 = 77$ pm olarak hesaplanır (Şekil 1.3.3).

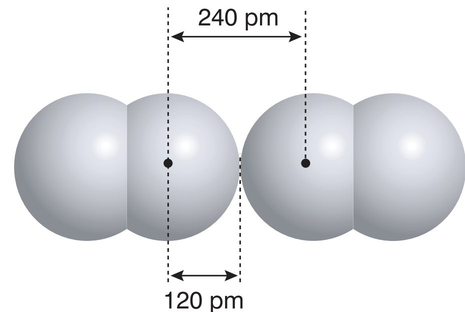



***Şekil 1.3.2:*** $Cl_2$ molekülü




***Şekil 1.3.3:*** Karbon ve klor atomları

Asal gazlar (He, Ne, Ar gibi) ile ametal atomların oluşturduğu apolar moleküllerde ($H_2$, $O_2$, $Cl_2$ gibi) van der Waals yarıçapı kullanılır. Asal gazlar ve apolar gaz maddeler yüksek basınç ve düşük sıcaklıkta katı hâle geçer. **Van der Waals yarıçap**, katı hâldeki asal gazlarda veya apolar moleküllerde komşu atomların çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısıdır. Örneğin hidrojen molekülündeki bir hidrojen atomun çekirdeği ile bu atomun temas hâlinde bulunduğu başka bir hidrojen molekülündeki bir hidrojen atomunun çekirdeği arasındaki uzaklık 240 pm'dir. Bu moleküller arasındaki van der Waals yarıçapı ise $240 / 2 = 120$ pm'dir (Şekil 1.3.4).




***Şekil 1.3.4:*** Hidrojen molekülleri arasındaki etkileşimde van der Waals yarıçap

Şekil 1.3.5'te (s. 30) 1A grubu ve 2. periyot element atomlarının pikometre biriminde atom yarıçapları verilmiştir. İnceleyiniz.

| 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | 6A | 7A | 8A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Li | Be | B | C | N | O | F | Ne |
| 152 | 112 | 85 | 77 | 71 | 73 | 72 | 70 |
| Na | | | | | | | |
| 186 | | | | | | | |
| K | | | | | | | |
| 227 | | | | | | | |
| Rb | | | | | | | |
| 248 | | | | | | | |
| Cs | | | | | | | |
| 265 | | | | | | | |

***Şekil 1.3.5:*** Periyodik tabloda yer alan 1A grubu ve 2. periyot element atomlarının pikometre biriminde yarıçapları




***Şekil 1.3.6:*** Atom yarıçapının periyot ve grup boyunca değişimi

| 1A | 2A | 3A | 5A | 6A | 7A |
|---|---|---|---|---|---|
| $Li^{+}$ | $Be^{2+}$ | $B^{3+}$ | $N^{3-}$ | $O^{2-}$ | $F^{-}$ |
| 78 | 34 | 20 | 171 | 140 | 133 |
| $Na^{+}$ | | | | | |
| 99 | | | | | |
| $K^{+}$ | | | | | |
| 133 | | | | | |
| $Rb^{+}$ | | | | | |
| 148 | | | | | |
| $Cs^{+}$ | | | | | |
| 165 | | | | | |

***Şekil 1.3.7:*** Periyodik tabloda yer alan 1A grubu ve 2. periyot element atomlarının oluşturdukları iyonların pikometre biriminde yarıçapları

Şekil 1.3.5'te görüleceği gibi bir periyot boyunca lityum (Li) atomundan neon (Ne) atomuna doğru gidildikçe atom yarıçapı genellikle azalmaktadır. Periyodik tabloda periyot boyunca elementin atom numarası bir artarken aynı katmana da bir elektron katılır. Atom numarasındaki artışa rağmen enerji düzeyinin değişmemesi, elektronların çekirdek tarafından daha kuvvetli çekilmesine neden olur. Bu nedenle periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe genellikle atom yarıçapı azalır.

Periyodik tabloda grup boyunca atom numarası artarken atoma katılan elektron atomun bir sonraki enerji düzeyine yerleşir. Atom numarası artmakla birlikte, enerji düzeyindeki bu artış, elektronların çekirdek tarafından daha zayıf kuvvetle çekilmesine neden olur. Dolayısıyla periyodik tabloda grup boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe atom yarıçapı artar (Şekil 1.3.6).

Nötr bir atom elektron vererek veya elektron alarak iyona dönüştüğünde, büyüklüğünde de değişim olur. Böyle bir durumda iyon yarıçapından söz edilir. İyon yarıçapı, oluştuğu atomun yarıçapından belirgin şekilde farklıdır. İyonik bir katıdaki her bir iyon zıt yüklü iyonlarla çevrili olduğundan iyon yarıçapı bu zıt yüklü iyonlarla tanımlanır. **İyon yarıçapı**, iyonik katıdaki bir katyonun veya bir anyonun yarıçapıdır.

Nötr bir atom, bir veya daha fazla elektron verdiğinde atom numarası aynı kalırken elektron sayısı azalır. Bu durumda elektronlar arasındaki itme kuvveti azalacağından, elektron bulutu büzüşür ve oluşan katyonun büyüklüğü nötr atomdan küçük olur. Diğer yandan, nötr bir atom, bir veya daha fazla elektron aldığında atom numarası aynı kalırken elektron sayısı artar. Bu durumda da elektronlar arasındaki itme kuvveti artacağından, elektron bulutu genişler ve oluşan anyonun büyüklüğü nötr atomdan büyük olur. Buna göre atomlar ve oluşturdukları iyonlar için şu genelleme yapılabilir: Bütün katyonlar oluştuğu atomlardan daha küçüktür. Bütün anyonlar da oluştuğu atomlardan daha büyüktür.

Şekil 1.3.7'de 1A grubu ve 2. periyot element atomlarının oluşturduğu iyon yüklerinin pikometre biriminde iyon yarıçapları verilmiştir. İnceleyiniz.

Periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe element atomlarının oluşturduğu katyonun yükü artmakta, anyonun yükü ise azalmaktadır. Katyonun yükü arttıkça, anyonun da yükü azaldıkça iyon yarıçapı genellikle azalır.

Periyodik tabloda aynı gruptaki atomlar aynı yüklü iyonlar

oluşturma eğilimindedir. Periyodik tabloda yukarıdan aşağıya doğru inildikçe atomların enerji düzeylerindeki artışa bağlı olarak atom yarıçapları arttığı gibi grup içinde iyonların yarıçapları da yukarıdan aşağıya doğru artar.

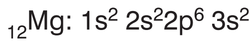
## Örnek 5

**Aşağıda verilen atom ve iyon çiftlerini yarıçaplarının büyüklüğüne göre karşılaştırınız.**

**a)** $_{12}Mg$ **ve** $_{20}Ca$ **b)** $_{7}N^{3-}$ **ve** $_{9}F^{-}$

## Çözüm 5

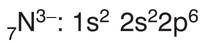
**a)** Atom yarıçaplarını karşılaştırmadan önce atomların elektron dizilimlerini yazalım.


$_{12}Mg$: $1s^2\ 2s^22p^6\ 3s^2$


$_{20}Ca$: $1s^2\ 2s^22p^6\ 3s^23p^6\ 4s^2$

Mg ve Ca elementleri 2A grubu elementleridir. Mg elementi 3. periyotta, Ca elementi 4. periyotta yer alır. Dolayısıyla aynı grupta bulunan elementlerden Ca elementi, Mg elementinin altındadır. Periyodik tabloda grup boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe atom yarıçapı artacağından Ca elementinin atom yarıçapı, Mg elementinin atom yarıçapından büyüktür.

**b)** İyon yarıçaplarını karşılaştırmadan önce iyonların elektron dizilimlerini yazalım.


$_{7}N^{3-}$: $1s^2\ 2s^22p^6$


$_{9}F^{-}$ : $1s^2\ 2s^22p^6$

$N^{3-}$ ve $F^{-}$ izoelektronik iyonlardır. Her iki iyon da 10 elektrona sahiptir. Atom numarası çekirdekteki proton sayısına eşittir. Dolayısıyla $N^{3-}$ iyonunun çekirdeğindeki pozitif yük, $F^{-}$ iyonunun çekirdeğindeki pozitif yükten daha azdır. $N^{3-}$ iyonunda çekirdek, $F^{-}$ iyonundakine göre elektronlara daha az çekim kuvveti uygular. Bu nedenle $N^{3-}$ iyonunun yarıçapı, $F^{-}$ iyonunun yarıçapından büyüktür.

### Hatırlatma



*Elektron dağılımları dolayısıyla elektron sayıları aynı olan atom ya da iyonlar* ***izoelektronik*** *olarak adlandırılır.*

## Alıştırma 4

**Aşağıda verilen atom ve iyon çiftlerini yarıçaplarının büyüklüğüne göre karşılaştırınız.**

**a)** $_{11}Na$ **ve** $_{13}Al$ **b)** $_{8}O^{2-}$ **ve** $_{16}S^{2-}$

### 1.3.2 İYONLAŞMA ENERJİSİ EĞİLİMİ

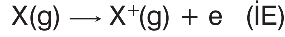
Bohr atom modeline göre elektronun bulunduğu en düşük enerji düzeyi onun temel hâlidir. Temel hâldeki bir atomun uyarılarak elektronun yüksek enerji düzeylerine geçmesi enerji gerektirir. Temel hâldeki bir atomda, bir elektronu çekirdeğin çekim gücünün tamamen dışında tutmak, diğer bir ifadeyle elektronu atomdan uzaklaştırmak için de dışarıdan enerji gerektirir.

Düşünelim



*Bakır atomunun bir elektronunu uzaklaştırmak için gerekli olan iyonlaşma enerjisi $İE_1$ = 746 kJ/mol'dür. Bakır (I) iyonundan ($Cu^+$) bir elektron uzaklaştırılması durumunda gerekli olan iyonlaşma enerjisinin büyüklüğünü bakır atomunun iyonlaşma enerjisinin büyüklüğü ile kıyaslayınız. Nedenini açıklayınız.*

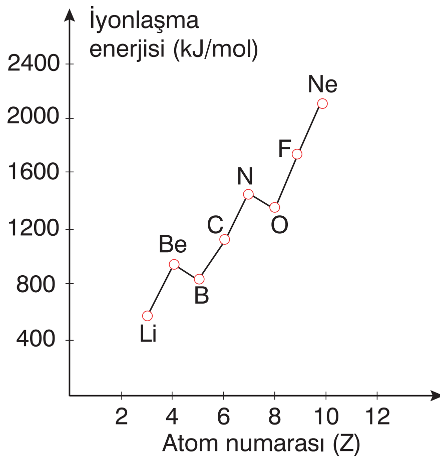
Gaz hâlindeki atomdan bir elektronun uzaklaştırılması için gerekli olan enerjiye **iyonlaşma enerjisi** (İE) denir. Elektronu uzaklaştırmak için atoma dışarıdan enerji verildiğinden iyonlaşma enerjisinin işareti pozitiftir. Bir elektron çekirdek tarafından ne kadar güçlü çekiliyorsa elektronu atomdan uzaklaştırmak için de dışarıdan o kadar fazla enerji gerekir. Diğer bir ifadeyle iyonlaşma enerjisinin büyüklüğü, atomdan uzaklaştırılacak olan elektronun, atom çekirdeği tarafından ne kadar kuvvetli tutulduğunun bir ölçüsüdür. X, herhangi bir element atomunu; e, atomdan uzaklaştırılan elektronu göstermek üzere aşağıdaki tepkime yazılabilir:



$$X(g) \longrightarrow X^+(g) + e \quad (İE)$$

Bir atomda kaç elektron varsa atom o kadar iyonlaşma enerjisi değerlerine sahip olabilir. Atomdan bir elektron uzaklaştığı zaman, kalan elektronlar arasındaki itme kuvveti azalacağından, elektronlar çekirdek tarafından daha kuvvetli çekilir. Dolayısıyla pozitif yüklü iyondan bir elektronun uzaklaştırılması için daha fazla enerji gerekir. Bir atomda tüm elektronları uzaklaştırmak için gerekli olan iyonlaşma enerjisi değerlerinin büyüklükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

$$İE_1 < İE_2 < İE_3 < İE_4 < \ldots < İE_n$$




***Grafik 1.3.1:*** 2. periyot element atomlarının birinci iyonlaşma enerjisinin atom numarası ile değişimi

Periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe genellikle iyonlaşma enerjisi artar. Bunun nedeni atom numarasının artmasına rağmen enerji düzeyinin değişmemesi, dolayısıyla atom yarıçapının azalmasıdır. Periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe atom yarıçapı azaldığından, elektronlar çekirdek tarafından daha kuvvetli çekilir. Bu durumda atomdan bir elektronu uzaklaştırmak için daha büyük enerji gerekir.

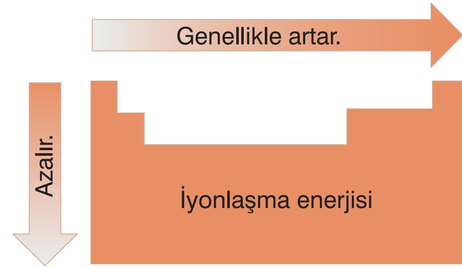
Grafik 1.3.1'de 2. periyot element atomlarının birinci iyonlaşma enerjilerinin, atom numarası ile değişimi verilmiştir. Periyot boyunca Li elementinden Ne elementine doğru gidildikçe bazı istisnalar hariç iyonlaşma enerjisinin arttığı görülmektedir. Bu du-

rumun nedeni şöyle açıklanabilir: 2. periyotta Be elementinin B elementinden önce, N elementinin de O elementinden önce gelmesine rağmen, Be ve N element atomlarının birinci iyonlaşma enerjileri beklenildiği gibi düşük değildir. Aksine, kendilerinden sonra gelen element atomlarının birinci iyonlaşma enerjilerinden yüksektir. Çünkü Be ve N atomları küresel simetri özelliği gösterdiğinden daha kararlıdır. Dolayısıyla kararlı atomlardan bir elektronu uzaklaştırmak daha fazla enerjiyi gerektirir.

Aynı periyottaki element atomlarının birinci iyonlaşma enerjilerinin kıyaslanışı aşağıdaki gibidir:

1A < 3A < 2A < 4A < 6A < 5A < 7A < 8A

Periyodik tabloda gruplar boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe iyonlaşma enerjisi azalır. Bunun nedeni atom numarasının artması ile birlikte enerji düzeyinin de artması dolayısıyla atom yarıçapının artmasıdır. Gruplar boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe atom yarıçapı artacağından, elektronlar çekirdek tarafından daha az kuvvetle çekilir. Bu durumda bir elektronu uzaklaştırmak için daha az enerji gerekir (Şekil 1.3.8).



*Şekil 1.3.8:* İyonlaşma enerjisinin periyot ve grup boyunca değişimi

## Örnek 6

**Aşağıda verilen üç atomun birinci iyonlaşma enerjilerinin büyüklüğünü karşılaştırınız.**

**$_{11}Na$, $_{16}S$ ve $_{19}K$**

## Çözüm 6

İyonlaşma enerjilerini karşılaştırmadan önce atomların elektron dizilimlerini yazarak periyodik tablodaki yerlerini belirleyelim.

$_{11}Na$: $1s^2\ 2s^2 2p^6\ \underline{3s^1}$

Na elementi 3. periyot, 1A grubunda yer alır.

$_{16}S$: $1s^2\ 2s^2 2p^6\ \underline{3s^2 3p^4}$

S elementi 3. periyot, 6A grubunda yer alır.

$_{19}K$: $1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6\ \underline{4s^1}$

K elementi 4. periyot, 1A grubunda yer alır.

Na ve S elementlerinin her ikisi de aynı periyotta yani 3. periyottadır. S elementi 6A grubu elementi olduğundan periyodik tabloda 1A grubu elementi olan Na elementinin sağında yer alır. Dolayısıyla periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe atom yarıçapı azalacağından iyonlaşma enerjisi

artar. Bu nedenle S atomunun birinci iyonlaşma enerjisi, Na atomunun birinci iyonlaşma enerjisinden büyüktür.

K elementi 4. periyotta yer aldığından, 3. periyotta yer alan Na ve S element atomlarının enerji düzeylerinden daha yüksek enerji düzeyine sahiptir. Dolayısıyla K atomunun yarıçapı diğer atomların yarıçapından büyüktür. Bu nedenle K atomunun iyonlaşma enerjisi de daha küçüktür. Buna göre birinci iyonlaşma enerjileri büyükten küçüğe doğru S > Na > K şeklinde sıralanır.

## Alıştırma 5

**Aşağıda verilen atomların birinci iyonlaşma enerjilerinin büyüklüğünü karşılaştırınız.**

**$_{12}Mg$ ve $_{17}Cl$**

Periyodik tabloda yer alan ilk 10 element atomunun iyonlaşma enerjileri Tablo 1.3.1'de verilmiştir. İnceleyiniz.

***Tablo 1.3.1:*** Periyodik tablodaki ilk 10 elementin iyonlaşma enerjileri (kJ/mol)

| Atom numarası | Element sembolü | $İE_1$ | $İE_2$ | $İE_3$ | $İE_4$ | $İE_5$ | $İE_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | H | 1312 | | | | | |
| 2 | He | 2373 | 5251 | | | | |
| 3 | Li | 520 | 7300 | 11815 | | | |
| 4 | Be | 899 | 1757 | 14850 | 21005 | | |
| 5 | B | 801 | 2430 | 3660 | 25000 | 32830 | |
| 6 | C | 1086 | 2350 | 4620 | 6220 | 38000 | 47261 |
| 7 | N | 1400 | 2860 | 4580 | 7500 | 9400 | 53000 |
| 8 | O | 1314 | 3390 | 5300 | 7470 | 11000 | 13000 |
| 9 | F | 1680 | 3370 | 6050 | 8400 | 11000 | 15200 |
| 10 | Ne | 2080 | 3950 | 6120 | 9370 | 12200 | 15000 |

## Bilgi Notu



*Bir element atomunun ardışık iyonlaşma enerjisindeki ani artıştan önceki iyonlaşma enerjisi sayısı, o element atomunun değerlik elektron sayısını verir. Değerlik elektron sayısı bir elementin grup numarasını belirtir.*

Tablo 1.3.1'de yer alan element atomlarının ardışık iyonlaşma enerjileri sırası incelendiğinde iyonlaşma enerjilerinde ani artışların olduğu görülür. Bu durumu Lityum (Li) atomunda irdeleyelim. Li atomunun elektron dizilimi şöyledir: $_3Li$: $1s^2\ 2s^1$

Li atomunda 2s orbitalindeki bir elektronun uzaklaşarak $Li^+$ iyonunun oluşması için gerekli olan birinci iyonlaşma enerjisi $İE_1$ = 520 kJ/mol'dür. $Li^+$ iyonunda 1s orbitalindeki bir elektronun uzaklaşarak $Li^{2+}$ iyonunun oluşması için gerekli olan ikinci iyonlaşma enerjisi $İE_2$ = 7300 kJ/mol'dür. $İE_2$ değeri $İE_1$ değerinden yaklaşık 14 kat daha büyüktür. Dolayısıyla $Li^{2+}$ iyonunun oluşması için birinci enerji düzeyinde iki elektron bulunan tam dolu s orbitalindeki bir elektronun uzaklaştırılması gerekir ki bu oldukça

zordur ve yüksek enerji gerektiren bir durumdur. Bu nedenle Li atomunun değerlik elektron sayısı 1'dir. Elektron dizilimi s orbitali ile sonlandığından Li elementi periyodik tabloda 1A grubunda yer alır.

**Örnek 7**

**Aşağıda ardışık kJ/mol biriminde iyonlaşma enerjileri verilen Al ve K element atomlarının değerlik elektron sayılarını bulunuz. Periyodik tablodaki grup numarası ile ilişkilendiriniz.**

| Element | $İE_1$ | $İE_2$ | $İE_3$ | $İE_4$ |
|---|---|---|---|---|
| Al | 578 | 1820 | 2750 | 11600 |
| K | 419 | 3052 | 4410 | 5900 |

**Çözüm 7**

Önce element atomlarının iyonlaşma enerjileri arasındaki ani artışın hangi değerler arasında olduğunu tespit edelim.

Al elementinin $İE_3$ ile $İE_4$ değerleri arasında ani artış yaklaşık 4 kat, K elementinin $İE_1$ ile $İE_2$ değerleri arasında ani artış yaklaşık 7 kattır. Ani artışların olduğu iyonlaşma enerjisi değerlerinden küçük olan iyonlaşma enerjisi sayısı, element atomlarının değerlik elektron sayısını verir. Al ve K element atomlarının değerlik elektron sayıları sırasıyla 3 ve 1'dir. Buna göre periyodik tabloda Al elementi 3A, K elementi ise 1A grubunda yer alır.

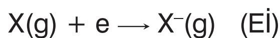
**Alıştırma 6**

**Aşağıda ardışık kJ/mol biriminde iyonlaşma enerjileri verilen Mg element atomunun değerlik elektron sayısını bulunuz. Periyodik tablodaki grup numarası ile ilişkilendiriniz.**

| Element | $İE_1$ | $İE_2$ | $İE_3$ | $İE_4$ |
|---|---|---|---|---|
| Mg | 739 | 1450 | 7730 | 10500 |

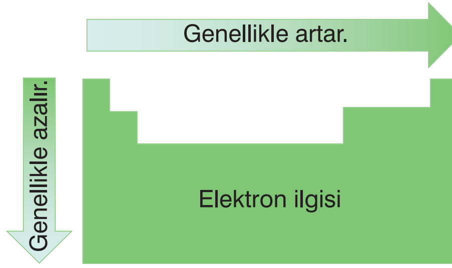
## 1.3.3 ELEKTRON İLGİSİ EĞİLİMİ

Elektron ilgisi atomun elektron kazanmasıyla ilgilidir. Gaz hâlindeki atomun bir elektron kazanması esnasında meydana gelen enerji değişimine **elektron ilgisi** (Eİ) denir. X, herhangi bir element atomunu; e, atomun kazandığı elektronu göstermek üzere aşağıdaki tepkime yazılabilir:


$X(g) + e \longrightarrow X^-(g)$ (Eİ)

| 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | 6A | 7A | 8A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Li | Be | B | C | N | O | F | Ne |
| -60 | >0 | -27 | -122 | >0 | -141 | -328 | >0 |
| | | | | | | Cl | |
| | | | | | | -349 | |
| | | | | | | Br | |
| | | | | | | -325 | |
| | | | | | | I | |
| | | | | | | -295 | |

*Şekil 1.3.9:* 2. periyot ve 7A grubu element atomlarının elektron ilgileri (kJ/mol)

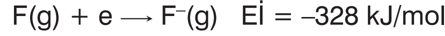



*Şekil 1.3.10:* Elektron ilgisinin periyot ve grup boyunca değişimi

## Bilgi Notu

*Şekil 1.3.9'daki 2A, 5A ve 8A grubu element atomlarının elektron ilgilerinin sıfırdan büyük, pozitif değerler aldığı görülmektedir. Bunun anlamı şudur: Bu grubun element atomlarının kazanacağı bir elektronun aynı enerji düzeyindeki yarı dolu (yarı kararlı) orbitallerden birine ya da tam dolu (tam kararlı) orbitallerin dışında çekirdekten uzaktaki yeni bir enerji düzeyine girmesi demektir. Bu durum, dışarıdan enerji verilmesini gerektirdiğinden elektron ilgisi değerleri pozitif olacaktır.*

Gaz hâlindeki nötr flor (F) atomunun bir elektron kazanmasıyla oluşan tepkimeyi ele alalım.



$F(g) + e \longrightarrow F^{-}(g)$   Eİ = –328 kJ/mol

F atomu bir elektron kazandığında 328 kJ/mol enerji açığa çıkar. Elektron ilgisi değerinin negatif olması dışarıya enerji verildiği anlamına gelir. Bu sayısal değerin büyük olması, F atomunun elektron kazanmaya istekli olduğunu gösterir.

Elektron kazanan birçok element atomunun anyonu kararsızdır. Dolayısıyla elektron ilgisi değerlerini deneysel olarak belirlemek oldukça güçtür. Bu nedenle elektron ilgisi değerleri dolaylı yollardan hesaplanan ve yaklaşık olarak elde edilen sayısal değerlerdir. Şekil 1.3.9'da 2. periyot ve 7A grubu element atomlarının elektron ilgileri verilmiştir. İnceleyiniz.

Şekil 1.3.9'daki element atomlarının elektron ilgileri incelendiğinde, atom yarıçapı ve iyonlaşma enerjisindeki eğilimlere göre elektron ilgisinin daha az periyodik olduğu görülür. Ancak kararlı elektron dizilimlerine sahip 2A, 5A ve 8A grubu element atomları dışında diğer element atomlarının elektron ilgisine ilişkin bir eğilimin de olduğu görülmektedir.

Periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe elektron ilgisi genellikle artar. Bu eğilim, özellikle periyodik tablonun sağ üst kısmında, atom yarıçapı diğer element atomlarının yarıçapına göre daha küçük olan flor element atomuna yaklaştıkça daha çok artar. Elektron ilgisi daha büyük negatif değerler alır.

Periyodik tabloda gruplar boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe elektron ilgisi genellikle azalır. Periyodik tablonun 7A grubu element atomları en yüksek elektron ilgisi değerlerine sahiptir. Çünkü 7A grubu element atomları bir elektron kazandıklarında hemen sağındaki asal gazlar gibi kararlı elektron dizilimine sahip olur (Şekil 1.3.10).

### 1.3.4 ELEKTRONEGATİFLİK EĞİLİMİ

Aynı iki ametal atom arasında meydana gelen kimyasal bağda elektronlar, her iki atom tarafından ortaklaşa kullanılır. Ortaklaşa kullanılan elektronlar atomlar arasında eşit kuvvetlerle çekilir. Örneğin $H_2$ molekülünde ortaklaşa kullanılan bir çift elektron, her bir H atomu tarafından eşit kuvvetlerle çekilir. Bununla birlikte, farklı iki ametal atom arasında elektronların ortaklaşa kullanılmasıyla oluşan kimyasal bağda elektronlar, atomlar arasında eşit

kuvvetlerle çekilmez. Örneğin HF molekülünde ortaklaşa kullanılan bir çift elektron, atomlardan biri tarafından diğerine göre daha kuvvetli çekilir. Çünkü H ve F atomları farklı atomlardır.

Kimyasal bir bağdaki atomların bağ elektronlarını çekme gücüne **elektronegatiflik** (EN) denir. Elektronegatifliği yüksek bir element atomu, elektronegatifliği düşük bir element atomuna göre elektronları kendisine daha kuvvetli çekme gücüne sahiptir.

Elektronegatiflik göreceli bir kavram olduğundan bir element atomunun elektronegatifliği doğrudan tek başına ölçülemez. Ancak diğer element atomlarının elektronegatifliğine bağlı olarak ölçülebilir. Elektronegatiflik değerlerinin tespit edilmesinde çeşitli yöntemler önerilmiştir. En çok kullanılan yöntemlerden biri, 1932 yılında Linus Pauling (Linus Poling) tarafından önerilen ve Pauling ölçeği olarak bilinen yöntemdir. Pauling ölçeğinde, F atomunun elektronegatiflik değeri keyfi olarak 4,0 alınmış ve diğer element atomlarının elektronegatiflik değerleri hesaplanmıştır (Şekil 1.3.11).

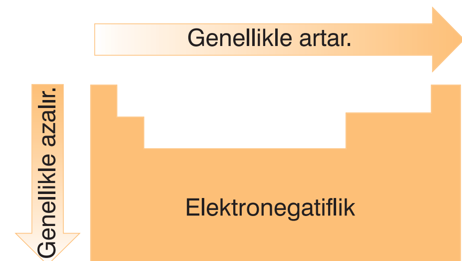
| 1A | 2A | 3A | 4A | 5A | 6A | 7A |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Li 1,0 | Be 1,5 | B 2,0 | C 2,5 | N 3,0 | O 3,5 | F 4,0 |
| | | | | | | Cl 3,0 |
| | | | | | | Br 2,8 |
| | | | | | | I 2,5 |

***Şekil 1.3.11:*** 2. periyot ve 7A grubu element atomlarının elektronegatiflik değerleri

Elektronegatiflik, iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi ile yakından ilişkilidir. İyonlaşma enerjisi yüksek olan atom, elektronları kendisine daha güçlü çekeceğinden bir elektronu uzaklaştırmak için büyük enerji gerekir. Elektron ilgisi yüksek bir atom ise elektronları kolaylıkla kazanarak dışarıya enerji verir. İyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi yüksek element atomları elektron kaybetmeye karşı isteksiz, elektron kazanmaya karşı isteklidir. Böyle atomlar elektronegatifliği yüksek atomlardır. Tersine, iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisi düşükse böyle atomlar elektronegatifliği düşük atomlardır.

Periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe elektronegatiflik genellikle artar. Örneğin 2. periyotta yer alan lityum (Li) element atomundan flor (F) element atomuna doğru hem iyonlaşma enerjisi hem de elektron ilgili genellikle artar. Dolayısıyla periyotta lityum atomunun elektronegatifliği düşük, flor atomununki ise yüksektir.

Periyodik tabloda gruplar boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe elektronegatiflik genellikle azalır. Örneğin 7A grubunda flor (F) element atomundan iyot (I) element atomuna doğru hem iyonlaşma enerjisi hem de elektron ilgisi azalır. Dolayısıyla flor element atomunun elektronegatifliği yüksek, iyot element atomunun elektronegatifliği düşüktür (Şekil 1.3.12).




***Şekil 1.3.12:*** Elektronegatifliğin periyot ve grup boyunca değişimi

### 1.3.5 METALİK VE AMETALİK EĞİLİMİ

Atomların elektron dizilimleri konusundan hatırlanacağı gibi en yüksek enerji düzeyinde elektronların sayısı birden sekize kadar değişebilmektedir. En yüksek enerji düzeyindeki değerlik elektron sayısı bir ve iki olan atomların elementleri periyodik tablonun solunda toplanmıştır ve bu elementler, hidrojen elementi hariç metallerden oluşmaktadır. Değerlik elektron sayısı üç ve daha fazla olan atomların elementleri periyodik tablonun sağında toplanmıştır ve bu elementler değerlik elektron sayısı artışına göre metalden ametale doğru değişkenlik gösterir. Metaller kolaylıkla elektron vererek pozitif yüklü iyonları oluştururken ametaller kolaylıkla elektron alarak negatif yüklü iyonları oluşturur.




*Şekil 1.3.13:* Metalik özelliğin periyot ve grup boyunca değişimi

Periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe element atomlarının metalik özelliği azalırken ametalik özelliği artar (Şekil 1.3.13, Şekil 1.3.14). Örneğin 2. periyot elementlerinden Li ve Be elementleri metalik, B elementi yarı metalik, C, N, O ve F elementleri ametalik özellik gösterir.



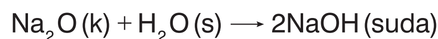

*Şekil 1.3.14:* Ametalik özelliğin periyot ve grup boyunca değişimi

Periyodik tabloda gruplar boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe metalik özellik artarken ametalik özellik azalır (Şekil 1.3.13, Şekil 1.3.14). Örneğin 4A grubu elementlerinden C elementi ametalik, Si ve Ge elementleri yarı metalik, Sn ve Pb elementleri metalik özellik gösterir.

### 1.3.6 OKSİT VE HİDROKSİT BİLEŞİKLERİNİN ASİTLİK VE BAZLIK ÖZELLİKLERİ

Oksijen elementi, asal gazlar ve bazı soy metaller (Au, Pt gibi) dışındaki elementlerle tepkimeye girerek oksitleri oluşturur. Elementlerin oksijenle oluşturduğu bileşiklere **oksitli bileşikler** denir.

Metallerin oksijenle oluşturduğu oksitli bileşiklere **metal oksit** denir. Metal oksitlerin büyük çoğunluğunun sulu çözeltileri bazik özellik gösterdiğinden, metal oksitler genellikle **bazik oksitler** olarak da nitelendirilir. 3. periyot elementlerinin oksitli bileşiklerini ele alalım. Na metalinin oksitli bileşiği olan $Na_2O$ bazik oksittir. Bu oksitli bileşiğin su ile verdiği tepkimede baz oluşur.



$$Na_2O(k) + H_2O(s) \longrightarrow 2NaOH(suda)$$

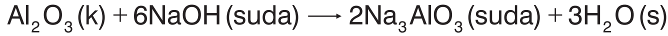
**Bilgi Notu**

*Metal oksitler, bazik oksitler yerine bazen bazik anhidritler olarak da adlandırılır. "Anhidrit", "susuz" anlamına gelir ve bir yönü ile metal oksit, suyu uzaklaştırılmış bir bazdır.*

Asitlerle tepkimeye girdiğinde bazik özellik, bazlarla tepkimeye girdiğinde asidik özellik gösteren oksitlere **amfoter oksitler** denir. 3. periyottaki Al metalinin oksitli bileşiği olan $Al_2O_3$ amfoter oksittir. Bu oksitli bileşiğin asit ve baz ile verdiği tepkimeler şöyledir:



$$Al_2O_3(k) + 6HCl(suda) \longrightarrow 2AlCl_3(suda) + 3H_2O(s)$$



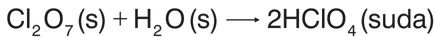
$$Al_2O_3(k) + 6NaOH(suda) \longrightarrow 2Na_3AlO_3(suda) + 3H_2O(s)$$

3. periyotta bir yarı metal olan Si elementinin oksitli bileşiği olan $SiO_2$ suda çözünmez. Bununla birlikte, kuvvetli bazik çözeltilerde az da olsa bir miktar çözünerek silikat tuzlarını oluşturur. Dolayısıyla $SiO_2$ bir asidik oksit olarak kabul edilir. $SiO_2$ bileşiğinin bir baz olan NaOH bileşiği ile verdiği tepkim e şöyledir:



$$SiO_2(k) + 2NaOH(suda) \longrightarrow Na_2SiO_3(suda) + H_2O(s)$$

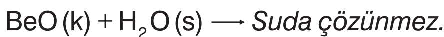
Ametallerin oksijenle oluşturduğu oksitli bileşiklere **ametal oksit** denir. Ametal oksitlerin büyük çoğunluğunun sulu çözeltileri asidik özellik gösterdiğinden, ametal oksitler genellikle asidik oksitler olarak da nitelendirilir. 3. periyottaki Cl ametalinin oksitli bileşiği olan $Cl_2O_7$ asidik oksittir. Bu oksitli bileşiğin su ile verdiği tepkimede asit oluşur.



$$Cl_2O_7(s) + H_2O(s) \longrightarrow 2HClO_4(suda)$$

Yukarıda ifade edilen 3. periyot elementlerinin oksitli bileşiklerinin verdiği tepkimelerden de anlaşılacağı gibi Periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe oksitli bileşiklerin asidik özelliği artarken bazik özelliği azalır (Şekil 1.3.15, Şekil 1.3.16).

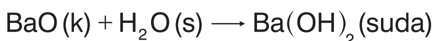
2A grubunda yer alan Be, Mg ve Ba metallerinin oksijenle oluşturduğu metal oksitlerden BeO, MgO ve BaO bileşiklerinin su ile tepkimeleri aşağıdaki gibidir:



$$BeO(k) + H_2O(s) \longrightarrow \textit{Suda çözünmez.}$$



$$MgO(k) + H_2O(s) \longrightarrow Mg(OH)_2(suda) \quad \textit{Suda az çözünür.}$$



$$BaO(k) + H_2O(s) \longrightarrow Ba(OH)_2(suda)$$

2A grubu elementlerinin oksitli bileşiklerinden BeO amfoter özellik gösterir. MgO zayıf bazik oksit, BaO ise kuvvetli bazik oksittir. Buna göre Periyodik tabloda gruplar boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe oksitli bileşiklerin asidik özelliği azalırken bazik özelliği artar (Şekil 1.3.15, Şekil 1.3.16).

## Biliyor musunuz?



*Elementlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre oluşturulmuş periyodik tabloda, periyodik özelliklerin değişim seyri, doğrudan bilinemeyen elementlerin özelliklerinin tahmin edilmesine yardımcı olur.*




***Şekil 1.3.15:*** Oksitli bileşiklerin asidik özelliğinin periyot ve grup boyunca değişimi




***Şekil 1.3.16:*** Oksitli bileşiklerin bazik özelliğinin periyot ve grup boyunca değişimi

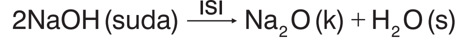



*Şekil 1.3.17:* Hidroksitli bileşiklerin asidik özelliğinin periyot ve grup boyunca değişimi

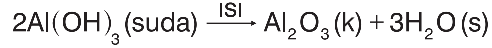



*Şekil 1.3.18:* Hidroksitli bileşiklerin bazik özelliğinin periyot ve grup boyunca değişimi

Oksitli bileşiklerde olduğu gibi hidroksitli bileşiklerde de periyodik eğilim görülür. 3. periyot elementlerinin hidroksitli bileşiklerinden NaOH, $Al(OH)_3$ ve $Cl(OH)_7$ bileşikleri ısıtıldığında gerçekleşen tepkimeler aşağıdaki gibidir:



$$2NaOH(suda) \xrightarrow{ISI} Na_2O(k) + H_2O(s)$$



$$2Al(OH)_3(suda) \xrightarrow{ISI} Al_2O_3(k) + 3H_2O(s)$$



$$Cl(OH)_7(suda) \xrightarrow{ISI} HClO_4(suda) + 3H_2O(s)$$

3. periyot elementlerinin hidroksitli bileşiklerinin tepkimeleri göz önüne alındığında soldan sağa doğru bazik özellikten amfoterliğe, amfoterlikten de asidik özelliğe doğru bir eğilimin olduğu görülür. Dolayısıyla periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe hidroksitli bileşiklerin asidik özelliği artarken bazik özelliği azalır (Şekil 1.3.17, Şekil 1.3.18).

2A grubu elementlerinin hidroksitli bileşiklerinden $Be(OH)_2$ en az bazik, $Ba(OH)_2$ ise en fazla bazik özellik gösteren bileşiklerdir. Bu nedenle periyodik tabloda gruplar boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe hidroksitli bileşiklerin asidik özelliği azalırken bazik özelliği artar (Şekil 1.3.17, Şekil 1.3.18).

## Alıştırma 7

**$_4$Be, $_{20}$Ca, $_{11}$Na ve $_{17}$Cl element atomlarının elektron dizilimlerini yazarak periyodik tablodaki yerlerini belirleyiniz. Element atomlarının periyodik tablodaki yerlerini göz önünde bulundurarak çizelgede verilen periyodik özelliklerdeki değişim eğilimlerinin büyüklüğünü her bir element atom çifti için kıyaslayınız.**

| Periyodik özelliklerdeki değişim eğilimi | $_4$Be ve $_{20}$Ca | $_{11}$Na ve $_{17}$Cl |
|---|---|---|
| Atom yarıçapı | | |
| İyonlaşma enerjisi | | |
| Elektron ilgisi | | |
| Elektronegatiflik | | |
| Metalik özellik | | |
| Ametalik özellik | | |
| Oksitli bileşiğinin asidik özelliği | | |
| Hidroksitli bileşiğinin bazik özelliği | | |

# 4. Bölüm

## ELEMENTLERİ TANIYALIM




### Konular



### Bölümde

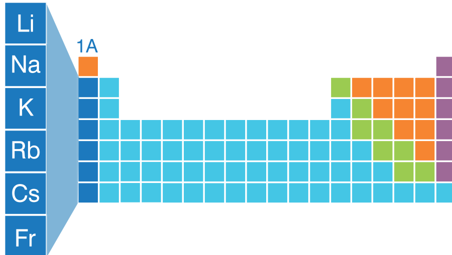
Kimyacılar, 19. yüzyılın ortalarına gelindiğinde elementlerin büyük bir kısmını keşfettiler, atom kütlelerini belirlediler ve birçoğunun özelliklerini tespit ettiler. Elementlerle ilgili elde ettikleri bilgileri kimya rehberinin bir sayfasında, elementler hakkında umdukları özellikleri de diğer sayfasında topladılar. Elementlerin özellikleri ile ilgili bu sınıflandırma, kimyacıların bilinen elementlerin benzerliklerini ve farklılıklarını görmelerine yardımcı olduğu gibi henüz bilinmeyen elementlerin özelliklerini öngörmelerine de yardımcı olmuştur.

Element atomlarının özelliklerini yapıları belirler. Bu nedenle elementlerin özellikleri, elementlerin periyodik tablodaki konumu, yani bulunduğu grup ile yakından ilişkilidir. Bu ilişki, maddelerin doğasını kavramaya yardımcı olur ve yeni malzemelerin tasarlanmasına imkân sağlar.

## 1.4.1 s BLOKU ELEMENTLERİ

Periyodik tablonun solundaki s blokta 1A ve 2A grubu elementleri yer alır. Şimdi, bu gruplardaki elementlerin özelliklerini inceleyelim.

### 1A Grubu Elementleri ve Özellikleri

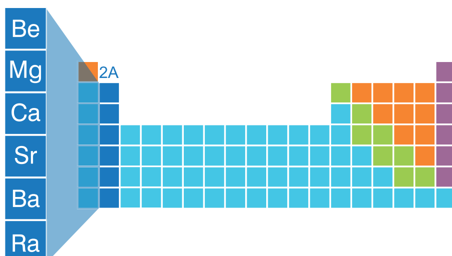



*Şekil 1.4.1:* 1A grubu elementleri

1A grubu elementleri alkali metaller olarak adlandırılır. Bu grubun element atomlarının elektron dizilimi $ns^1$ ($n \geq 2$) ile sonlanır (Şekil 1.4.1). 1A grubunda yer alan H elementi metal değildir. Ancak elektron dizilimi $s^1$ ile sonlandığından periyodik tablonun bu grubunda yer alır.

Alkali metallerin en yüksek enerji düzeyindeki s orbitalinde bir elektron bulunduğundan değerlik elektron sayısı 1'dir. Alkali metaller birinci iyonlaşma enerjilerinin düşüklüğü nedeniyle tek değerlik elektronlarını kolaylıkla vererek bileşiklerinde +1 yüklü iyon oluştururlar. Bileşiklerinde oluşturdukları kimyasal bağ, iyonik bağdır. Bu nedenle alkali metal bileşiklerinin tamamı iyonik yapılıdır. Alkali metaller, bütün metaller içinde aktifliği en yüksek metallerdendir. Dolayısıyla alkali metaller doğada serbest hâlde bulunmaz. Grup boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe alkali metallerin metalik karakteri artar.

### 2A Grubu Elementleri ve Özellikleri




*Şekil 1.4.2:* 2A grubu elementleri

2A grubu elementleri toprak alkali metaller olarak adlandırılır. Bu grubun element atomlarının elektron dizilimi $ns^2$ ($n \geq 2$) ile sonlanır (Şekil 1.4.2).

Toprak alkali metallerin en yüksek enerji düzeyindeki s orbitalinde iki elektron bulunduğundan değerlik elektron sayısı 2'dir. İyonlaşma enerjisinin düşüklüğü alkali metaller kadar olmasa da toprak alkali metaller iki değerlik elektronunu kolaylıkla vererek bileşiklerinde +2 yüklü iyon oluşturur. Bileşiklerinde oluşturdukları kimyasal bağ, iyonik bağdır. Bu nedenle toprak alkali metal bileşiklerinin tamamı iyonik yapılı bileşiklerdir. Toprak alkali metallerin aktifliği, alkali metallerden biraz daha az olmakla birlikte diğer metallere göre yüksektir. Dolayısıyla toprak alkali metaller de alkali metaller gibi doğada serbest hâlde bulunmaz. Grup boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe toprak alkali metallerin metalik karakteri artar.

## 1.4.2 p BLOKU ELEMENTLERİ

Periyodik tablonun sağındaki p blokta 3A, 4A, 5A, 6A, 7A ve 8A grubu elementleri yer alır. Şimdi, bu gruplardaki elementlerin özelliklerini inceleyelim.

## 3A Grubu Elementleri ve Özellikleri

3A grubu elementleri toprak metalleri olarak adlandırılır. Bu grubun element atomlarının elektron dizilimi $ns^2np^1$ ($n \geq 2$) ile sonlanır (Şekil 1.4.3). 3A grubu elementlerinin en üstünde yer alan bor elementi yarı metal, grubun diğer elementleri ise metaldir. Gruplar boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe ametalik karakterden metalik karaktere eğilim artar.

3A grubu element atomlarının en yüksek enerji düzeyindeki s ve p orbitallerinde toplam üç elektron bulunduğundan değerlik elektron sayısı 3'tür. 3A grubu elementlerinden bor, değerlik elektronlarını ortaklaşa kullanarak kovalent bağ oluşturur.

Alüminyum elementi ise değerlik elektronlarını vererek her zaman bileşiklerinde +3 yüklü iyon oluşturur. Grubun diğer elementleri hem +1 hem de +3 iyon yüküne sahiptir. Ancak galyum elementi de alüminyum gibi bileşiklerinde +3 iyon yükünü tercih eder. Grubun daha ağır diğer elementleri, s orbitalindeki değerlik elektronlarını koruma eğilimindedir. Bunun sonucu olarak gruptan aşağıya doğru inildikçe +1 iyon yükü daha önemli olmaya başlar. 3A grubu metal elementlerinin bileşiklerinde oluşturdukları kimyasal bağ iyonik bağdır.



***Şekil 1.4.3:*** 3A grubu elementleri

## 4A Grubu Elementleri ve Özellikleri

Bu grubun element atomlarının elektron dizilimi $ns^2np^2$ ($n \geq 2$) ile sonlanır (Şekil 1.4.4). 4A grubu elementlerinden karbon ametal, silisyum ve germanyum yarı metal, kalay ve kurşun ise metaldir. Grup boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe ametalik karakterden metalik karaktere eğilim artar.

4A grubu element atomlarının en yüksek enerji düzeyindeki s ve p orbitallerinde toplam dört elektron bulunduğundan değerlik elektron sayısı 4'tür. Gruptaki diğer elementlere göre daha hafif olan karbon ve silisyum element atomları bileşiklerinde –4 ile +4 arasında iyon yüküne sahiptir ve değerlik elektronlarını ortaklaşa kullanarak kovalent bağ oluşturur.

Grubun metal elementlerinde ise pozitif yüklü iyon oluşturma eğilimi vardır. Gruptaki metal elementler hem +2 hem de +4 iyon yüküne sahip olabilir. Dolayısıyla 4A grubu metalleri bileşiklerinde iyonik bağ oluşturur. Ancak grupta yukarıdan aşağı doğru inildikçe s ve p orbitallerindeki değerlik elektronları arasındaki enerji farkı artar. s orbitalindeki elektronlar bağ oluşturmazken p orbitalindeki elektronlar bağ oluşturur. Kurşun, bileşiklerinde s ve p değerlik orbitallerindeki toplam dört değerlik elektronunu vererek $Pb^{4+}$ iyonu oluşturmak yerine p değerlik orbitalindeki iki değerlik elektronu vererek $Pb^{2+}$ iyonunu oluşturma eğilimindedir.



***Şekil 1.4.4:*** 4A grubu elementleri

N
P
As
Sb
Bi

*Şekil 1.4.5:* 5A grubu elementleri

## 5A Grubu Elementleri ve Özellikleri

Bu grubun element atomlarının elektron dizilimi $ns^2np^3$ ($n \geq 2$) ile sonlanır (Şekil 1.4.5). 5A grubu elementlerinden azot ve fosfor ametal, arsenik ve antimon yarı metal, bizmut ise metaldir. Grup boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe ametalik karakterden metalik karaktere eğilim artar. Bu artış, aktif olmayan azottan, havayla temasında hemen yanan fosfora, önemli yarı iletken olan arsenik ve antimondan, metal olan bizmuta doğru keskin biçimde değişir.

5A grubu element atomlarının en yüksek enerji düzeyindeki s ve p orbitallerinde toplam beş elektron bulunduğundan değerlik elektron sayısı 5'tir. Grup elementleri, bileşiklerinde oktetini tamamlamak için –3 ile +5 arasında iyon yüküne sahiptir. Azot ve fosfor bileşiklerinde elektron ortaklaşması yaparak kovalent bağ oluşturur. Arsenik, antimon ve bizmut ise bileşiklerinde iyonik bağ oluşturur.

O
S
Se
Te
Po

*Şekil 1.4.6:* 6A grubu elementleri

## 6A Grubu Elementleri ve Özellikleri

Bu grubun element atomlarının elektron dizilimi $ns^2np^4$ ($n \geq 2$) ile sonlanır (Şekil 1.4.6). 6A grubu elementlerinden oksijen, kükürt ve selenyum ametal, tellür ve polonyum ise yarı metaldir. Grup boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe ametalik karakterden metalik karaktere eğilim artar.

6A grubu element atomlarının en yüksek enerji düzeyindeki s ve p orbitallerinde toplam altı elektron bulunduğundan değerlik elektron sayısı 6'dır. Grup elementleri, bileşiklerinde oktetini tamamlamak için genellikle –2 iyon yüküne sahiptir. Ancak oksijen dışındaki diğer elementler –2'den +6'ya kadar iyon yüküne de sahip olabilir. 6A grubu elementleri bileşiklerinde elektron ortaklaşması yaparak kovalent bağ oluşturur.

F
Cl
Br
I
At

*Şekil 1.4.7:* 7A grubu elementleri

## 7A Grubu Elementleri ve Özellikleri

Bu grubun element atomlarının elektron dizilimi $ns^2np^5$ ($n \geq 2$) ile sonlanır (Şekil 1.4.7). 7A grubu elementleri halojenler olarak adlandırılır. Halojen adı Latincede "tuz oluşturan" anlamına gelir. 7A grubu elementlerinden flor, klor, brom ve iyot ametaldir. Astatin ise yarı metaldir. Grup boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe ametalik karakterden metalik karaktere eğilim artar.

7A grubu element atomlarının en yüksek enerji düzeyindeki s ve p orbitallerinde toplam yedi elektron bulunduğundan değerlik elektron sayısı 7'dir. Halojenler, bileşiklerinde oktetini tamamlamak için genellikle –1 iyon yüküne sahiptir. Ancak flor dışındaki diğer halojenler +1'den +7'ye kadar iyon yüküne de sahip olabilir.

Halojenler oldukça aktif olduklarından doğada serbest hâlde bulunmaz. Bu nedenle normal şartlarda iki atomlu moleküller (Örneğin $F_2$ gibi) hâlinde bulunur. Halojenler bileşiklerinde elektron ortaklaşması yaparak kovalent bağ oluşturur.

### 8A Grubu Elementleri ve Özellikleri

8A grubu elementleri asal gazlar olarak adlandırılır. Bu grubun element atomlarının elektron dizilimi (He hariç) $ns^2np^6$ (n ≥ 2) ile sonlanır (Şekil 1.4.8).

***Şekil 1.4.8:*** 8A grubu elementleri

Helyum atomunun elektron dizilimi s orbitali ile sonlanmasına ve değerlik elektron sayısının 2 olmasına rağmen, asal gazların genel özelliklerine sahip olduğundan 8A grubunda gösterilir. Diğer asal gazların en yüksek enerji düzeyindeki s ve p orbitallerinde toplam sekiz elektron bulunduğundan değerlik elektron sayısı 8'dir. Helyum dubletini, diğer asal gazlar ise oktetini tamamlamıştır. Asal gazlar, aynı periyottaki bütün elementler arasında birinci iyonlaşma enerjisi en yüksek değere sahip elementlerdir. Bu nedenle aktiflikleri en düşük elementlerdir. Asal gazlar doğada tek atomlu gaz hâlinde bulunur.

Asal gazların genellikle aktifliği ve kimyasal bağ oluşturma özelliği olmadığından yıllarca inert (tepkime vermeyen) gazlar olarak adlandırıldı. Ancak özel tepkime şartlarında ksenonun başta olmak üzere birçoğunun flor ve oksijen ile yaptıkları bileşikler sentezlenebilmiştir.

## 1.4.3 d BLOKU ELEMENTLERİ

d bloku elementleri periyot boyunca, soldan sağa doğru oldukça aktif s blok metalleri ile çok az aktif p blok metalleri arasında bir geçiş sağladığından geçiş elementleri veya geçiş metalleri olarak adlandırılır. d bloku element atomlarının elektron dizilimi (n – 1)d ile sonlanır (n ≥ 4) (Şekil 1.4.9).

***Şekil 1.4.9:*** d bloku elementleri

d bloku element atomlarının elektron dizilimleri başlıca (n – 1)d orbitallerinin doluluk oranına göre değişkenlik gösterir. Aufbau Prensibi'ne göre bu orbitaller doldurulacak en son orbitallerdir. Grup boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe metalik karakter eğilimi artar.

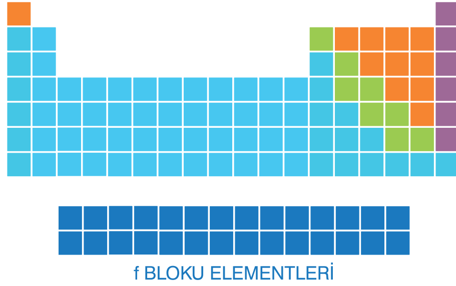
d bloku elementlerinin tamamı metaldir ve aktiflikleri metale göre değişkenlik gösterir. Bileşik oluştururken öncelikle s orbitalindeki değerlik elektronlarını verme eğilimindedir. Bununla birlikte, elementlerin çoğu d orbitallerindeki elektronların bir kısmını vererek farklı pozitif iyon yüklerine de sahip olabilir. Örneğin bileşiklerinde skandiyum yalnızca +3, çinko yalnızca +2 iyon yüküne

**Hatırlatma** 

*Aufbau İlkesi'ne göre geçiş metallerinin elektron diziliminde en yüksek enerji düzeyindeki s orbitalleri d orbitallerinden önce doldurulur.*

sahipken kararlı bileşiklerinde demir +2 ve +3 iyon yüküne, krom +3 ve +6 iyon yüküne sahiptir. Bakır ise bileşiklerinde +1 ve +2 iyon yüküne sahiptir. Büyük çoğunluğu değişken iyon yüküne sahip d bloku elementleri, bileşiklerinde iyonik bağ oluşturur.

### 1.4.4 f BLOKU ELEMENTLERİ




***Şekil 1.4.10:*** f bloku elementleri

f bloku elementlerinin aslında esas yerleri, 6 ve 7. periyotlarda 3B grubundaki elementlerden sonradır. Ancak f bloku elementlerinin bu periyotlarda bulunması, periyodik tablonun çok uzamasına ve karmaşıklığına neden olacağından periyodik tablonun alt kısmında iki sıra hâlinde yer alır (Şekil 1.4.10).

f bloku elementleri iç geçiş elementleri olarak adlandırılır. f blokunda atom numarası 58 olan seryum (Ce) elementi ile başlayan ve atom numarası 71 olan lutesyum (Lu) elementi ile sona eren on dört elementlik sıraya **lantanitler** denir. Atom numarası 90 olan toryum (Th) elementi ile başlayan ve atom numarası 103 olan lavrensiyum (Lr) elementi ile sona eren on dört elementlik sıraya ise **aktinitler** denir.

f bloku elementlerinin elektron dizilimleri, diğer blok (s, p, d) elementlerinin elektron dizilimlerinden farklıdır. f bloku elementlerinden bazı elementlerin elektron dizilimi f orbitali ile sonlanırken bazıları d orbitali ile sonlanmaktadır. Bunun nedeni lantanitlerde 4f ve 5d, aktinitlerde ise 5f ve 6d orbitalleri arasındaki enerji düzeylerinin birbirlerine çok yakın olmasıdır. Ayrıca aktinitlerde atomların kararsız olmaları da elektron dizilimlerini etkileyen bir başka nedendir.

Lantanitlerde elektronlar 4f orbitallerine, aktinitlerde 5f orbitallerine dolmaktadır. f orbitalleri iç katmanda olduğundan dış katmandaki elektronlara etkisi azdır. Bu nedenle elementlerin kimyasal özellikleri dış katmandaki elektronlara bağlıdır.

f bloku elementlerinin tamamı metaldir. Bu elementlerden lantanitler toprak alkali metaller gibi aktiftir. Lantanitler genellikle +3 iyon yüküne sahiptir. Kararsız praseodimyum elementi hariç, bütün lantanitler doğada bulunur. Aktinitler ise genellikle +3 veya +4 iyon yüküne sahiptir. Aktinitlerden ilk dört element (Th, Pa, U ve Np) doğada bulunur. Diğer aktinitler laboratuvarda ancak bazı özellikleri belirlenebilecek kadar elde edilebilmiştir.

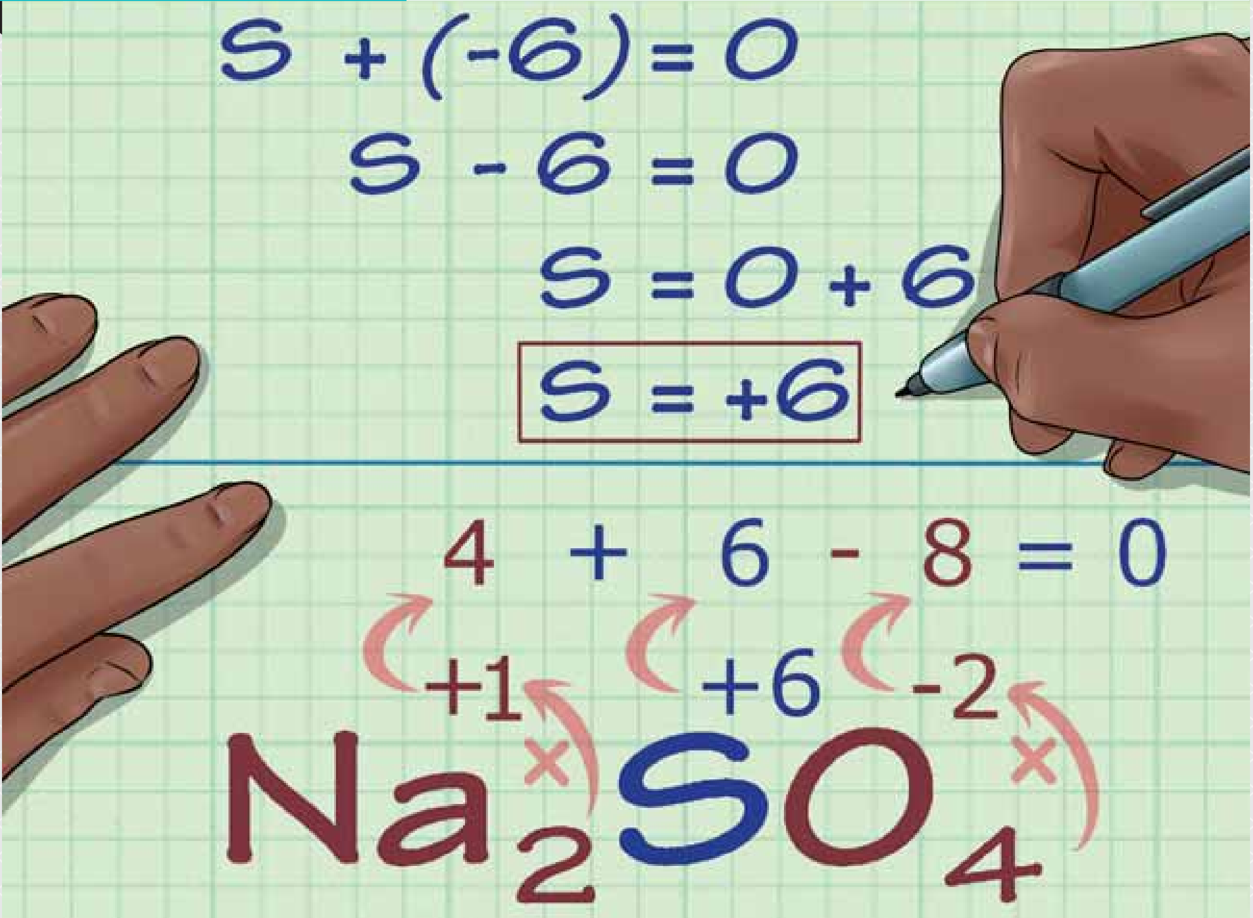
Periyodik tablonun s, p, d ve f bloklarında yer alan her element bir adla ifade edilmekte ve bir sembolle gösterilmektedir. Birçok element adını Latince ve Grekçe gibi yabancı dillerden almıştır ve bu dillerde sembolleştirilmiştir. Bu durum elementlerin özelliklerinin tanınmasına yönelik kimya biliminde iletişimin daha kolay ve daha anlaşılır ifade edilmesine imkân sağlamıştır.

**Bilgi Notu**

*Lantanitler nadir toprak metalleri olarak da adlandırılır. Bu elementlerin toprakta (yer kabuğunda) çok nadir bulunduğu sanılarak böyle bir adlandırma yapılmıştır. Ancak gerçekte bu elementler toprakta çok nadir değildir. Örneğin seryum (Ce) ve neodimyum (Nd) kurşundan (Pb) daha bol, tulyum (Tm) ise iyot (I) kadar bol bulunur.*

# 5. Bölüm

## YÜKSELTGENME BASAMAKLARI




### Konular



### Bölümde

Kimyadaki temel kavramların birçoğu ölçülebilen özellikler veya olaylarla ilgilidir. Ancak bazı kavramlar geliştirilmiştir ki bunlar bazı özel amaçlara hizmet eder. Yükseltgenme basamağı da bu kavramlardan biridir. Kimyasal tepkimelerde yükseltgenme basamağı karşılaştırılarak, bir tepkime öncesi ve sonrası atomdaki elektronun nereden nereye aktarıldığını belirlemek mümkündür. Yükseltgenme basamağı, atomun elektron mu kazandığı yoksa elektron mu kaybettiği hakkında bir fikir verir.

Fotosentez olayında, yakıt hücrelerinin çalışmasında ve metallerin arıtılmasında olduğu gibi daha birçok kimyasal tepkimelerin gerçekleşmesinin altında yatan temel süreçlerden biri, kimyasal türlerin birinden diğerine elektron aktarımıdır. Elektronun nasıl aktarıldığını anlamak, kimyasal tepkimelerin laboratuvar şartlarında tasarlanmasına yardımcı olur.

### 1.5.1 YÜKSELTGENME BASAMAĞI KAVRAMI

Kimyasal tepkimelerin birçoğu, kimyasal bir türün başka bir kimyasal türe elektron aktarımını içerir. Kimyacılar aktarılan bu elektronları izlemek için her elemente bir "yükseltgenme basamağı" vererek bir yol bulmuşlardır. Bileşik formüllerinin yazılmasında, adlandırılmasında ve tepkime denklemlerinin denkleştirilmesinde yükseltgenme basamağından yararlanılır.

Bileşiği oluşturan element atomunun aldığı, verdiği veya ortaklaşa kullandığı elektronların sayısına **yükseltgenme basamağı** denir. İyonik bağ yapan iki atomlu bileşiklerde bir atomun yükseltgenme basamağı, bu atomdan türemiş iyon yükü ile aynıdır. Örneğin NaCl bileşiğinde sodyum atomu bir elektron vererek $Na^+$ iyonunu, klor atomu da bir elektron alarak $Cl^-$ iyonunu oluşturur. $Na^+$ iyonunun yükü +1, $Cl^-$ iyonunun yükü –1'dir. Bu iyon yükleri aynı zamanda atomların yükseltgenme basamaklarıdır. Ancak elektron alışverişinin net gerçekleştiği iyonik bileşiklerde, yükseltgenme basamağı yerine "iyon yükü" kavramının kullanılması daha uygundur.



**Uyarı**

*Bazı kimya kaynaklarında yükseltgenme basamağı yerine yükseltgenme sayısı kavramı kullanılır. Her iki kavram da aynı anlamdadır.*

Kovalent bağlı bileşiklerde, iyonik bağlı bileşiklerin atomları arasında olduğu gibi elektron alışverişi gerçekleşmez. Kovalent bağlı bileşiklerde atomlar arasında elektronlar ortaklaşa kullanılır. Dolayısıyla kovalent bağlı bileşiklerde atomlar, iyonik bağlı bileşiklerin atomlarında olduğu gibi net iyon yüküne sahip değildir. Örneğin HCl bileşiğinde atomlar arasında ortaklaşa kullanılan elektronlar, H atomuna göre elektronegatifliği yüksek olan Cl atomuna daha yakındır. H atomu bağ yapan bir elektronunu Cl atomuna vermiş, Cl atomu da H atomunun bağ yapan bir elektronunu almış gibidir. Fakat gerçekte elektronların alınması ya da verilmesi söz konusu değildir. Bu nedenle kovalent bağlı bileşiklerde ametal atomların anyon hâlindeki yüklerine iyon yükü yerine yükseltgenme basamağı kavramının kullanılması daha uygundur. Bu durumda HCl bileşiğinde hidrojen atomunun yükseltgenme basamağı +1, klor atomunun yükseltgenme basamağı –1'dir.



**Bilgi Notu**

- *Hidrojen peroksitte ($H_2O_2$) ve peroksit iyonu ($O_2^{2-}$) bulunan bileşiklerde oksijenin yükseltgenme basamağı –1'dir.*
- *Süperoksit iyonu ($O_2^-$) bulunan bileşiklerde oksijenin yükseltgenme basamağı –1/2'dir.*
- *$OF_2$ bileşiğinde oksijenin yükseltgenme basamağı +2'dir.*

Bileşiklerde atomların alacağı yükseltgenme basamakları elektron dizilimleriyle ilişkilidir. Elektron dizilimi $ns^1$ şeklinde sonlanan 1A grubu element atomları (H hariç) +1, $ns^2$ ile sonlanan 2A grubu element atomları +2 yükseltgenme basamağına sahiptir. Elektron dizilimi $ns^2np^1$ şeklinde sonlanan 3A grubu element atomlarından Al atomunun yükseltgenme basamağı +3,

grubun diğer element atomlarının yükseltgenme basamağı +1 veya +3'tür. Elektron dizilimi $ns^2np^2$ şeklinde sonlanan 4A grubu element atomlarının metalleri +2 veya +4, ametalleri ise –4 ile +4 arasında yükseltgenme basamağına sahiptir. Elektron dizilimi $ns^2np^3$ şeklinde sonlanan 5A grubu element atomları –3 ile +5 arasında yükseltgenme basamağı değeri alabilir. Elektron dizilimi $ns^2np^4$ şeklinde sonlanan 6A grubu element atomları genellikle –2 yükseltgenme basamağına sahipken –2 ile +6 arasında da yükseltgenme basamağında da bulunabilir. Elektron dizilimi $ns^2np^5$ şeklinde sonlanan 7A grubu element atomları genellikle –1 yükseltgenme basamağına sahiptir. F dışındaki element atomları –1 ile +7 arasında yükseltgenme basamağı değerini alabilir.

Yükseltgenme basamaklarını belirlemek için uygulanacak bazı kurallar aşağıdaki gibidir:

1. Serbest element atomunun veya element molekülünün yükseltgenme basamağı sıfırdır. Örneğin Na, Fe, $H_2$, $O_2$, $Cl_2$ gibi.
2. Bileşikler elektriksel olarak nötr olduğundan bir bileşikteki atomların yükseltgenme basamaklarının toplamı sıfırdır.
3. Tek atomlu bir iyonun yükü ile o iyonun yükseltgenme basamağı aynıdır. Çok atomlu bir iyonun yükü, atomların yükseltgenme basamaklarının toplamına eşittir.
4. Elektronegatifliği en yüksek element olan flor, bütün bileşiklerinde –1 yükseltgenme basamağına sahiptir.
5. Hidrojenin ametallerle yaptığı bileşiklerde yükseltgenme basamağı +1, metallerle yaptığı bileşiklerde –1'dir.
6. Oksijenin bileşiklerinde yükseltgenme basamağı genellikle –2'dir.
7. 1A grubu ve 2A grubu elementleri bütün bileşiklerinde yükseltgenme basamağı grup numarasına eşittir.
8. Metallerle, hidrojenle ve amonyum iyonu ($NH_4^+$) ile yapılan ikili bileşiklerde 7A grubu elementlerinin yükseltgenme basamağı –1, 6A grubu elementlerinin yükseltgenme basamağı –2 ve 5A grubu elementlerinin yükseltgenme basamağı –3'tür.

## Örnek 8

**Aşağıda verilen kimyasal türlerde azotun yükseltgenme basamağını belirleyiniz.**

**a)** $N_2$ **b)** $NH_3$ **c)** $NO_3^-$ **ç)** $N_2O_4$

## Hatırlatma



*Aşağıdaki tablolarda yaygın olarak kullanılan bazı katyon ve anyonların yüklerini, sembollerini ve adlarını hatırlayınız.*

| +1 yüklü iyonlar | | +2 yüklü iyonlar | |
|---|---|---|---|
| $H^+$ | Hidrojen iyonu | $Be^{2+}$ | Berilyum iyonu |
| $Li^+$ | Lityum iyonu | $Mg^{2+}$ | Magnezyum iyonu |
| $Na^+$ | Sodyum iyonu | $Ca^{2+}$ | Kalsiyum iyonu |
| $K^+$ | Potasyum iyonu | $Ba^{2+}$ | Baryum iyonu |
| $Ag^+$ | Gümüş iyonu | $Zn^{2+}$ | Çinko iyonu |
| $Cu^+$ | Bakır(I) iyonu | $Cu^{2+}$ | Bakır(II) iyonu |
| $NH_4^+$ | Amonyum iyonu | $Fe^{2+}$ | Demir(II) iyonu |
| +3 yüklü iyonlar | | | |
| $Al^{3+}$ | Alüminyum iyonu | $Fe^{3+}$ | Demir(III) iyonu |

| –1 yüklü iyonlar | | | |
|---|---|---|---|
| $H^-$ | Hidrür iyonu | $I^-$ | İyodür iyonu |
| $F^-$ | Florür iyonu | $OH^-$ | Hidroksit iyonu |
| $Cl^-$ | Klorür iyonu | $CN^-$ | Siyanür iyonu |
| $Br^-$ | Bromür iyonu | $NO_3^-$ | Nitrat iyonu |
| –2 yüklü iyonlar | | | |
| $O^{2-}$ | Oksit iyonu | $CO_3^{2-}$ | Karbonat iyonu |
| $S^{2-}$ | Sülfür iyonu | $SO_4^{2-}$ | Sülfat iyonu |
| –3 yüklü iyonlar | | | |
| $N^{3-}$ | Nitrür iyonu | $P^{3-}$ | Fosfür iyonu |
| $PO_4^{3-}$ | Fosfat iyonu | | |

## Bilgi Notu



*Genellikle pozitif yükseltgenme basamağına sahip element ilk sırada yazılır. Ancak $NH_3$ gibi N ve H elementi içeren bileşiklerde ve $CH_4$ gibi C ve H elementi içeren bileşiklerde ikinci sırada yazılır.*

## Unutmayalım



*Geleneksel olarak iyon yükleri "x+" ve "x–" olarak gösterilir. Yükseltgenme basamakları ise "+x" ve "–x" olarak gösterilir.*

## Bilgi Notu



*Bileşiklerde yükseltgenme basamaklarını daireler içinde kırmızı renkte göstermek, yükseltgenme basamaklarını hesaplamada doğabilecek karışıklığı ortadan kaldırabilir.*

### Çözüm 8

**a)** Element molekülünün yükseltgenme basamağı sıfırdır. Bu nedenle azot molekülünde azotun yükseltgenme basamağı sıfırdır.

**b)** Hidrojenin ametallerle yaptığı bileşiklerde yükseltgenme basamağı +1'dir. Bir bileşikteki atomların yükseltgenme basamaklarının toplamı sıfırdır. Buna göre;



$NH_3$ $x+3\cdot(+1)=0 \Rightarrow x=-3$'tür.

Azot, –3 yükseltgenme basamağına sahiptir.

**c)** Oksijenin yükseltgenme basamağı –2'dir. Çok atomlu bir iyonun yükü, atomların yükseltgenme basamaklarının toplamına eşittir. Buna göre;



$(NO_3)^-$ $x+3\cdot(-2)=-1 \Rightarrow x=+5$'tir.

Azot, +5 yükseltgenme basamağına sahiptir.

**ç)** Bir bileşikteki atomların yükseltgenme basamaklarının toplamı sıfırdır. Buna göre;



$N_2O_4$ $2\cdot x+4\cdot(-2)=0 \Rightarrow x=+4$'tür.

Azot, +4 yükseltgenme basamağına sahiptir.

### Alıştırma 8

**Aşağıda verilen kimyasal türlerde istenilen atomların yükseltgenme basamaklarını belirleyiniz.**

**a) $Cl_2O$ bileşiğinde Cl atomu** **b) $PO_4^{3-}$ iyonunda P atomu**

Buraya kadar anlatılan konularda ve örneklerde iyon yükleriyle yükseltgenme basamakları arasındaki farka vurgu yapıldı. d bloku elementlerinde yani geçiş elementlerinde yükseltgenme basamağı nasıl değişim gösterir?

Geçiş metallerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, diğer metallerde olduğu gibi elektron dizilimine bağlıdır. Geçiş metallerinin en yüksek enerji düzeyindeki s orbitali ile bir alt enerji düzeyindeki d orbitallerinin enerjileri birbirine çok yakındır. Bu nedenle geçiş metallerinin çoğunluğu bileşik oluştururken s orbitalindeki elektronlarla birlikte d orbitalindeki elektronları da kullanarak kimyasal bağ oluşturur. Dolayısıyla d bloku elementleri çeşitli yükseltgenme basamaklarına sahiptir. Tablo 1.5.1'de (s. 51) 4. periyot d bloku elementlerinin yükseltgenme basamakları verilmiştir. İnceleyiniz.

*Tablo 1.5.1:* 4. periyot d bloku elementlerinin yükseltgenme basamakları (En kararlı yükseltgenme basamakları kırmızı renkte gösterilmiştir.)

| Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | +1 | |
| | +2 | +2 | +2 | +2 | +2 | +2 | +2 | +2 | +2 |
| +3 | +3 | +3 | +3 | +3 | +3 | +3 | +3 | | |
| | +4 | +4 | +4 | +4 | +4 | +4 | | | |
| | | +5 | +5 | +5 | +5 | | | | |
| | | | +6 | +6 | +6 | | | | |
| | | | | +7 | | | | | |

Tablo 1.5.1 incelendiğinde geçiş elementlerinin çoğunun birden fazla yükseltgenme basamağına sahip ve en yaygın yükseltgenme basamaklarının +2 ve +3 olduğu görülmektedir. d blokunun ortasına yakın geçiş elementlerinde daha fazla yükseltgenme basamağının bulunduğu anlaşılmaktadır.

Serinin başında +3 yükseltgenme basamağı kararlı iken sonlarına doğru +2 yükseltgenme basamağı daha kararlı olur. Bu eğilim metallerin iyonlaşma enerjilerinden kaynaklanır. Hatırlanacağı gibi atomların iyonlaşma enerjileri periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe genellikle artar. Bununla birlikte serideki metallerin üçüncü iyonlaşma enerjisi (d orbitalindeki bir elektronun ayrılmasıyla), birinci ve ikinci iyonlaşma enerjilerine (s orbitalindeki birinci ve ikinci elektronun ayrılmasıyla) göre aniden artar. Çünkü serinin sonlarında bulunan metallerden üçüncü elektronun uzaklaştırılması, serinin başlarında bulunan bir metale göre daha zordur. Bu nedenle serinin sonlarındaki metaller +3 yükseltgenme basamağı oluşturmak yerine +2 yükseltgenme basamağı oluşturmaya daha eğilimlidir. Skandiyum, 4s ve 3d orbitallerindeki toplam üç elektronu vererek yalnızca +3 yükseltgenme basamağına sahip olur. Çinko, 3d orbitali tam dolu olduğundan 4s orbitalindeki iki elektronu vererek yalnızca +2 yükseltgenme basamağını tercih eder. Titanyum 4s ve 3d orbitallerindeki toplam dört elektronu vererek daha kararlı +4 yükseltgenme basamağını tercih eder. Mangan, bileşiklerinde 4s orbitalindeki 2 elektronu vererek kararlı +2 yükseltgenme basamağına sahipken permanganat iyonunda ($MnO_4^-$) kararlı +7 yükseltgenme basamağına sahiptir.

**Uyarı**



*İyon yükü ile yükseltgenme basamağı karıştırılmamalıdır.*

# 1. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

## A. *Aşağıdaki metinde numaralandırılmış boşlukları kutuda verilen kelimelerden uygun olanları ile tamamlayınız.*

**iyonlaşma enerjisi**, periyodik eğilimler, **obital**, azalır, **Pauli İlkesi**, yükseltgenme basamağı, **artar**, kuantum sayılarıyla, **yörünge**, periyot numarasını

Elektronun bulunabileceği enerji düzeyleri Bohr atom modelinde ....................... (1) kavramı ile tanımlanırken atomun kuantum modelinde ....................... (2) kavramı ile tanımlanır. Orbital, ....................... (3) tanımlanan bir dalga fonksiyonudur ve elektron kuantum sayılarının belirlediği tek bir enerji düzeyinde bulunur. Belirli şekilleri ve uzayda yönelişlerinin olduğu varsayılarak dört orbital türü tanımlanmıştır. Bunlar s, p, d ve f orbitalleridir.

Nötr atomların elektron dizilimleriyle periyodik sistemdeki yerleri arasında bir ilişki söz konusudur. Bu ilişki Hund Kuralı, ....................... (4) ve Aufbau Prensibi ile açıklanır. Bir element atomunun elektron diziliminde en yüksek enerji düzeyi ....................... (5), sonlandığı orbital türü grubunu, değerlik elektron sayısı ise kaçıncı grupta olduğunu belirtir.

Periyodik tablo, elementlerin artan atom numaralarına göre sıralanarak oluşturulmuştur. Elementlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri de atom numaralarına bağlı olarak ....................... (6) gösterir. Bu eğilimler; atom/iyon yarıçapı, ....................... (7), elektron ilgisi, elektronegatiflik, metalik/ametalik eğilimler, oksit/hidroksit bileşiklerinin asitlik/bazlık eğilimleridir. Periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe atom yarıçapı, metalik özellik ve oksitli bileşiklerin bazlık özelliği ....................... (8), iyonlaşma enerjisi, elektronegatiflik ve oksitli bileşiklerin asitlik özelliği ....................... (9). Periyodik tabloda gruplar boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe atom yarıçapı, metalik özellik ve hidroksitli bileşiklerin bazlık özelliği artar, iyonlaşma enerjisi, elektronegatiflik ve hidroksitli bileşiklerin asitlik özelliği azalır. Kimyasal tepkimelerde bileşikler oluşurken atomlar arasında alınan veya verilen elektron sayısı ....................... (10) olarak adlandırılır. Geçiş metallerinin çoğunluğu birden fazla yükseltgenme basamağına sahiptir.

## B. *Aşağıda verilen ifadeleri okuyunuz. İfadeler doğru ise "D", yanlış ise "Y" harfini işaretleyiniz.*

Ⓓ Ⓨ **1.** Kuantum sayıları elektronun atomdaki enerji düzeylerine göre konumunu tespit eder.

Ⓓ Ⓨ **2.** Açısal momentum kuantum sayısı $\ell = 1$ olan alt enerji düzeyinde toplam 3 orbital bulunur.

Ⓓ Ⓨ **3.** Bir katyonun iyon yarıçapı oluştuğu atomun yarıçapından büyüktür.

Ⓓ Ⓨ **4.** Periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe atom yarıçapı genellikle azalır.

Ⓓ Ⓨ **5.** Periyodik tabloda gruplar boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe metalik özellik artar.

Ⓓ Ⓨ **6.** Elektron dizilimi $4s^2 3d^5$ ile sonlanan bir element atomu periyodik tablonun 3. periyot, 5A grubundadır.

Ⓓ Ⓨ **7.** d bloku elementleri bileşik oluştururken öncelikle s orbitalindeki değerlik elektronlarını verme eğilimindedir.

Ⓓ Ⓨ **8.** $SO_4^{2-}$ iyonunda S atomunun yükseltgenme basamağı –2'dir.

## C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Yörünge ve orbital kavramları arasındaki farkları açıklayınız.
2. n = 2 için toplam orbital sayısı ve bu orbitallerde bulunabilecek en fazla elektron sayısı kaçtır?
3. Aşağıdaki elementlerin periyot ve grup numaralarını belirleyiniz.

   **a)** $_{7}N$ **b)** $_{17}Cl$ **c)** $_{21}Sc$ **ç)** $_{36}Kr$
4. Aşağıda verilen atom ve iyon çiftlerini yarıçaplarının büyüklüğüne göre karşılaştırınız?

   **a)** $_{13}Al$ ve $_{17}Cl$ **b)** $_{12}Mg^{2+}$ ve $_{20}Ca^{2+}$
5. Aşağıda verilen atom çiftlerini birinci iyonlaşma enerjilerinin büyüklüğüne göre karşılaştırınız.

   **a)** $_{12}Mg$ ve $_{15}P$ **b)** $_{11}Na$ ve $_{19}K$
6. Aşağıda kJ/mol biriminde iyonlaşma enerjisi verilen kalsiyum (Ca) element atomunun değerlik elektron sayısını bularak periyodik tablodaki grup numarası ile ilişkilendiriniz.

| Element | $İE_1$ | $İE_2$ | $İE_3$ | $İE_4$ |
|---|---|---|---|---|
| Ca | 590 | 1145 | 4900 | 6500 |

7. İyon yükü ile yükseltgenme basamağı arasındaki farkı açıklayınız.
8. Aşağıda verilen kimyasal türlerde istenilen atomların yükseltgenme basamaklarını belirleyiniz.

   **a)** $CO_2$ bileşiğinde C atomunun **b)** $P_4O_{10}$ bileşiğinde P atomunun

   **c)** $Na_2SO_4$ bileşiğinde S atomunun **ç)** $Br_2$ molekülünde Br atomunun

## Ç. Aşağıda verilen ifadeleri kavramlarla eşleştiriniz.

| İfade | Kavram | Eşleştirme |
|---|---|---|
| **1.** Elektronun bulunduğu en düşük enerji düzeyidir. | **a.** p orbitalleri | .......... |
| **2.** Atomun çekirdeği etrafındaki belirli bir uzay bölgesinde tek elektronun bulunma olasılığını verir. | **b.** Aufbau Prensibi | .......... |
| **3.** Bir atomun n = 2 enerji düzeyinde başlar. | **c.** Temel hâl | .......... |
| **4.** Bir atomda aynı dört kuantum sayısına sahip iki elektron olamaz. | **ç.** Atom yarıçapı | .......... |
| **5.** Elektronlar orbitallere en düşük enerji düzeyinden en yüksek enerji düzeyine doğru dağılır. | **d.** Elektron ilgisi | .......... |
| **6.** Birbirlerine komşu aynı iki atomun çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısıdır. | **e.** Elektronegatiflik | .......... |
| **7.** Kimyasal bir bağdaki atomların bağ elektronlarını çekme gücüdür. | **f.** Pauli İlkesi | .......... |
| **8.** Gaz hâlindeki atomun bir elektron kazanması esnasında meydana gelen enerji değişimidir. | **g.** Orbital | .......... |
| | **h.** Kovalent yarıçap | .......... |

## D. *Aşağıdaki çizelgede bazı ifadeler verilmiştir. Bu ifadeler, periyodik tablodaki hangi element / elementler için geçerli ise o elementin sembolünü yazınız.*

| İfade | Element sembolü |
|---|---|
| **a.** Ametaldir. | |
| **b.** 4. periyot, 2A grubundadır. | |
| **c.** Atom yarıçapı en büyüktür. | |
| **ç.** Toprak alkali metaldir. | |
| **d.** Son katmanında 7 elektron vardır. | |
| **e.** Geçiş metalidir. | |
| **f.** Elektronegatifliği en büyüktür. | |
| **g.** Tepkimeye yatkınlığı yoktur. | |
| **h.** Hem metal hem de ametal özelliğe sahiptir. | |
| **ı.** Elektron ortaklaşması yapar. | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Be | | | | | | | | | | | B | | N | O | F | |
| Na | | | | | | | | | | | | | Si | | | | Ar |
| | Ca | Sc | | | | | Fe | | | Cu | | | | | | Br | |
| | | | | | | | | | | | | | | Sb | | | Xe |
| | | | | | | | | | Pt | | | | | | | | |
| Fr | | | | | | | | | | | | | | | | | |

## E. *Aşağıda verilen çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.*

**1.** **Aşağıdaki orbitallerden hangisi d orbitalidir?**

**A)**

**B)**

**C)**

**D)**

**E)**

**2.** **Aşağıdaki kuantum sayılarının hangisi bir orbitali belirtmek için bir arada bulunmaz?**

**A)** $n = 1, \ell = 0, m_\ell = 0$

**B)** $n = 2, \ell = 1, m_\ell = -1$

**C)** $n = 2, \ell = 0, m_\ell = 0$

**D)** $n = 3, \ell = 1, m_\ell = -2$

**E)** $n = 3, \ell = 2, m_\ell = +2$

3. **Aşağıdakilerden hangisi $m_s$'nin olası değerlerinden biridir?**

**A)** –3/2 **B)** –1/2 **C)** –1/3

**D)** +1/3 **E)** +2/3

4. **Aşağıdakilerden hangisinde vanadyum ($_{23}V$) atomunun elektron diziliminin orbital şeması ile gösterimi doğru verilmiştir** ($_{18}Ar$)?

**A)** [Ar] [↑↓] (4s) [↑↓][↑][ ][ ][ ] (3d)

**B)** [Ar] [ ] (4s) [↑][↑][↑][↑][↑] (3d)

**C)** [Ar] [↑] (4s) [↑][↑][↑][↑][ ] (3d)

**D)** [Ar] [↑↓] (4s) [↑][↑][↑][ ][ ] (3d)

**E)** [Ar] [ ] (4s) [↑↓][↑↓][↑][ ][ ] (3d)

5. Na: $1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^1$

S: $1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^4$

Cl: $1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^5$

**Yukarıda elektron dizilimleri verilen atomların birer elektron kazanması esnasında açığa çıkan enerjilerin (elektron ilgilerinin) büyüklüklerinin karşılaştırılması aşağıdakilerin hangisinde doğru verilmiştir?**

**A)** S > Cl > Na **B)** Cl > Na > S

**C)** Na > Cl > S **D)** S > Na > Cl

**E)** Cl > S > Na

6.

| Element | $İE_1$ | $İE_2$ | $İE_3$ | $İE_4$ | $İE_5$ |
|---|---|---|---|---|---|
| X | 801 | 2430 | 3660 | 25000 | 32830 |

**Yukarıda kJ/mol biriminde iyonlaşma enerjileri verilen X element atomunun periyodik tablodaki grup numarası aşağıdakilerden hangisidir?**

**A)** 1A **B)** 2A **C)** 3A

**D)** 4A **E)** 5A

7. I. Doğada bileşikleri hâlinde bulunur.

II. Aktifliği en yüksek elementlerdendir.

III. Elektron dizilimleri $ns^1$ ile sonlanır.

**Yukarıda verilen özellikler aşağıdakilerden hangisine aittir?**

**A)** Alkali metaller **B)** Halojenler

**C)** Geçiş elementleri **D)** Asal gazlar

**E)** Toprak alkali metaller

8. **$_{11}Na^+$, $_{20}Ca^{2+}$ ve $_{35}Br^-$ iyonlarının yarıçaplarının büyükten küçüğe doğru sıralanışı aşağıdakilerin hangisinde doğru verilmiştir?**

**A)** $Ca^{2+} > Na^+ > Br^-$

**B)** $Br^- > Ca^{2+} > Na^+$

**C)** $Na^+ > Br^- > Ca^{2+}$

**D)** $Br^- > Na^+ > Ca^{2+}$

**E)** $Ca^{2+} > Br^- > Na^+$

9. **Atom numarası 26 olan atomun periyodik tablodaki grubu aşağıdakilerden hangisidir?**

**A)** 2A **B)** 4A **C)** 7A **D)** 5B **E)** 8B

10. **3d orbitalinin açısal momentum kuantum sayısı ($\ell$) ve manyetik kuantum sayısı ($m_\ell$) aşağıdakilerden hangisidir?**

| | $\ell$ | $m_\ell$ |
|---|---|---|
| **A)** | 1 | –1, 0, +1 |
| **B)** | 0 | 0 |
| **C)** | 2 | –2, –1, 0, +1, +2 |
| **D)** | 3 | –1, 0, +1 |
| **E)** | 1 | –2, –1, 0, +1, +2 |

11. **Orbital türleri ile ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi yanlıştır?**

**A)** p orbitalleri n = 2 enerji düzeyinde başlar.

**B)** d orbitallerinin dördü özdeş, biri farklıdır.

**C)** s orbitallerinin sınır yüzey diyagramı küreseldir.

**D)** p orbitalleri merkezden düğümlenmiş iki lop hâlindedir.

**E)** Orbitallerin boyutları baş kuantum sayısının artışı ile artar.

12. **Kalsiyumun atom numarası 20'dir. $Ca^{2+}$ iyonunun elektron dizilimi aşağıdakilerden hangisidir?**

**A)** $1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6$

**B)** $1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6 3d^2$

**C)** $1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6 3d^4$

**D)** $1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6\ 4s^2$

**E)** $1s^2\ 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6\ 4s^2 3d^2$

13. **$_{17}Cl$, $_{18}Ar$ ve $_{19}K$ atomlarının yarıçaplarının büyükten küçüğe doğru sıralanışı aşağıdakilerin hangisinde doğru verilmiştir?**

**A)** Cl > Ar > K **B)** K > Cl > Ar

**C)** Ar > Cl > K **D)** Ar > K > Cl

**E)** K > Ar > Cl

14. **Periyodik tabloda periyot boyunca soldan sağa doğru gidildikçe genellikle aşağıdakilerden hangisi azalır?**

**A)** İyonlaşma enerjisi

**B)** Ametalik özellik

**C)** Elektron ilgisi

**D)** Atom yarıçapı

**E)** Elektronegatiflik

**15. Periyodik tabloda gruplar boyunca yukarıdan aşağıya doğru inildikçe aşağıdakilerden hangisi artar?**

**A)** Elektronegatiflik

**B)** Elektron ilgisi

**C)** İyonlaşma enerjisi

**D)** Metalik özellik

**E)** Ametalik özellik

**16. $Cr_2O_7^{2-}$ iyonunda Cr atomunun yükseltgenme basamağı aşağıdakilerden hangisidir?**

**A)** +6 **B)** +4 **C)** +2 **D)** –1 **E)** –2

**17. Periyodik tablonun en aktif metallerinden biri olan element atomunun elektron dizilimi aşağıdakilerden hangisi ile sonlanır?**

**A)** $4s^1$ **B)** $3s^2$ **C)** $3s^2 3p^1$ **D)** $4s^2 3d^1$ **E)** $4s^2 3d^3$

**18. Bir element atomunun elektron dizilimi $2p^5$ ile sonlanmaktadır. Bu element atomu ile ilgili olarak;**

I. Aktifliği en yüksek elementlerdendir.

II. Kararlı bileşiklerinde –1 iyon yüküne sahiptir.

III. Elektronegatifliği en yüksek elementtir.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**19. d bloku elementleri ile ilgili olarak;**

I. Elektron dizilimleri (n – 1)d ile sonlanır.

II. Büyük çoğunluğu değişken iyon yüküne sahiptir.

III. 2A grubu ile 3A grubu elementleri arasında yer alır.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız III **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**20.** I. $SO_3$

II. $SO_4^{2-}$

III. $HSO_4^-$

**Yukarıda verilen kimyasal türlerde kükürt (S) elementinin yükseltgenme basamaklarının büyüklükleri bakımından karşılaştırılması aşağıdakilerin hangisinde doğru verilmiştir?**

**A)** I > II > III **B)** II = III > I **C)** III > I > II **D)** I = II = III **E)** II > I = III

# 2. ÜNİTE GAZLAR

1 > GAZLARIN ÖZELLİKLERİ VE GAZ YASALARI

2 > İDEAL GAZ YASASI

3 > GAZLARDA KİNETİK TEORİ

4 > GAZ KARIŞIMLARI

5 > GERÇEK GAZLAR

## Anahtar Kavramlar

basınç, difüzyon, doygun buhar basıncı, efüzyon, faz diyagramı, hacim, ideal gaz, gerçek gaz, kısmi basınç, kritik basınç, kritik sıcaklık, mutlak sıcaklık, standart-normal şartlar

## Ünitede

Dünyada bir karışım hâlinde bulunan ve en önemli gazlardan biri olan hava, yani atmosfer, yer çekimi kuvveti tarafından yer yüzeyinde ince bir tabaka hâlinde tutulur. Eğer uzayın, dünyanın bir basketbol topu büyüklüğünde görülebildiği bir noktasından bakılabilseydi, ince bir tabaka hâlindeki atmosfer, ancak bir milimetre kalınlığında görülebilecekti. Bu ince tabaka canlıları zararlı ışınlardan korumakta ve hayatın devamlılığı için gerekli olan azot, oksijen, karbon dioksit gibi gazları ve su buharını sağlamaktadır. Atmosferin yıllarca tek bir bileşenden oluşan gaz olarak düşünülmesi gazların incelenmesini kolaylaştırmış, gazlar hakkında gözlemsel yasaların çıkarılmasına yardımcı olmuştur.

**ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI**

**1.** Basınç nedir? Günlük hayatta hangi basınç birimleri kullanılmaktadır?

**2.** Bir kişinin üzerine sıktığı deodorant kokusunun hissedilmesinin nedenini araştırınız.

# 1. Bölüm GAZLARIN ÖZELLİKLERİ VE GAZ YASALARI



## Konular

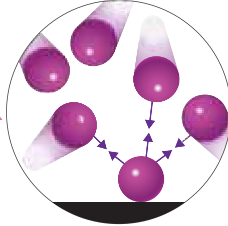


## Bölümde

Doğada maddenin üç temel hâli ile karşılaşılır. Bunlar katı, sıvı ve gaz hâlidir. Bu bölümün de konusu olan gazların özellikleri, basınç ve sıcaklık gibi değişimlere karşı gösterdikleri davranışlardan dolayı katı ve sıvılardan farklıdır.

Sıcak hava balonları, gazların özelliklerine ilişkin gözlemsel yasaların çıkarılmasından önce, insanlığın hep ilgisini çekmiştir. İnsanlar, sıcak hava balonları ile yükselerek bir yerden bir başka yere seyahat etme arzusunu taşımışlardır. Havadan hafif sıcak hava balonlarının yükselme gücünü anlamak, büyük ölçüde gazların yoğunlukları ve gazların basınç, sıcaklık gibi temel özellikleri hakkında bilgi sahibi olmakla mümkündür.





*Şekil 2.1.1:* Gaz molekülleri konuldukları kabın çeperleri ile esnek çarpışma yaparlar.

## 2.1.1 GAZLARIN ÖZELLİKLERİ

Maddenin doğada karşılaşılan gaz hâli, katı ve sıvı hâllerinden farklı bazı davranışlar gösterir. Gazların davranışları şöyle sıralanabilir:

- Gaz tanecikleri arasında büyük boşluklar bulunur.
- Gazlar bulundukları kabın tamamına yayılır.
- Gazlar sıkıştırılabilir ve genleşebilir.
- Gazlar akışkandır.

Gazların nitelenmesini basınç (P), hacim (V), sıcaklık (T) ve miktar (n) gibi dört temel özellik belirler. İleriki konularda incelenecek olan gaz yasaları, bu dört temel özellik arasındaki ilişkileri kapsar. Şimdi, bu özellikleri irdeleyelim.

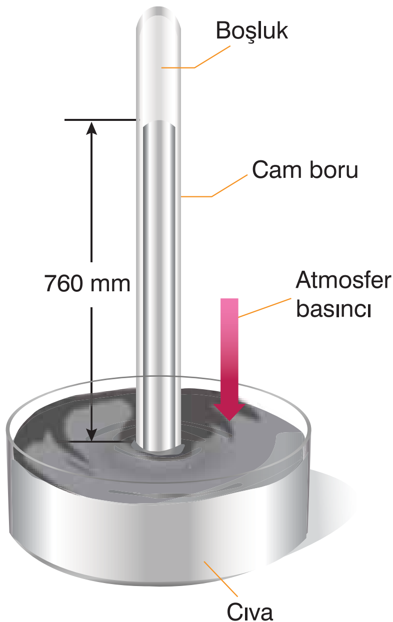
### Basınç

Bisiklet lastiği bir pompa yardımı ile şişirildiğinde lastik uzun bir süre şişkin kalır. Lastiğin şişkin kalması gaz moleküllerinin hareketi sayesindedir. Gazlar sürekli olarak hızlı ve hareket hâlindedir. Bu hareketleri esnasında kabın çeperlerine (yüzeylerine) rastgele çarpar (Şekil 2.1.1). Bunun sonucunda kabın çeperlerine bir basınç uygularlar. Bir gazın basıncı (P), gaz taneciklerinin kabın çeperlerine uyguladığı kuvvetin (F), kabın yüzey alanına (A) bölümüne eşittir. Yani basınç, birim yüzeye etki eden kuvvettir.

$$P = \frac{F}{A}$$

Uluslararası birim sisteminde (SI) basıncın birimi paskal (Pa)'dır. Fakat bu bölümde gazlarla ilgili günlük hayatta sıkça kullanılan basınç birimleri üzerinde durulacaktır.

Bisiklet lastiğinin içindeki hava bir basınçölçer ile ölçülecek olursa basınçölçerin göstergesinde okunacak değer, lastik içindeki havanın basıncı ile atmosfer basıncı arasındaki farktır.

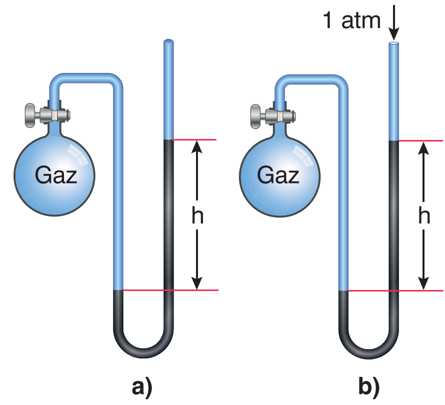



*Şekil 2.1.2:* Atmosfer basıncını ölçen araç. Cıva sütununun yüksekliği atmosfer basıncı ile dengelenir.

Atmosfer basıncı, deniz seviyesinde ölçülen açık hava basıncıdır. Atmosfer basıncı, ilk defa 17. yüzyılda İtalyan bilim insanı Evangelista Torricelli (İvancelista Toriçelli) tarafından ölçülmüştür. Torricelli, Şekil 2.1.2'dekine benzer bir düzenek geliştirdi. Bir ucu kapalı ince cam boruyu cıva ile doldurdu. Sonra cam borunun açık ucunu kapatıp cıva dolu kabın içine ters çevirerek daldırdı ve kapalı ucu tekrar açtı. Cam borudaki cıvanın bir kısmı kaba boşaldı. Torricelli, cıva sütunun yüksekliğini 760 mm olarak ölçtü. Deniz seviyesinde 0 °C'ta, 760 mm cıva sütununun oluşturduğu basınca **standart atmosfer basıncı** (1 atmosfer) denir. Atmosfer basıncı **barometre** adı verilen araçlarla ölçülür.

Gaz basıncı ise **manometre** denilen araçlarla ölçülür. Manometrenin çalışma prensibi barometreninkine benzer. Manometreler yapıları bakımından kapalı uçlu ve açık uçlu olmak üzere iki çeşittir (Şekil 2.1.3).

Tablo 2.1.1'de günlük hayatta sıkça karşılaşılan basınç birimleri, sembolleri ve basınç birimlerinin birbirine dönüşümleri verilmiştir. İnceleyiniz.




*Şekil 2.1.3:* Gaz basıncını ölçen manometre **a)** Kapalı uçlu manometre **b)** Açık uçlu manometre

*Tablo 2.1.1:* Bazı basınç birimleri ve sembolleri

| Basınç birimi | Birim sembolü | Basınç birimleri dönüşümü |
|---|---|---|
| atmosfer | atm | 1 atm = 760 mmHg |
| milimetre cıva | mmHg | 1 atm = 760 Torr |
| Torr | Torr | 1 Torr = 1 mmHg |

**Örnek 1**

**Aşağıda verilen birimleri istenilen birimlere dönüştürünüz.**

**a) 0,25 atm = ? mmHg** **b) 95 Torr = ? atm**

**Çözüm 1**

**a)** 1 atm 760 mmHg ise

0,25 atm x

$x = 0,25 \cdot 760$

$x = 190$ mmHg

**b)** 1 atm 760 Torr ise

x 95 Torr

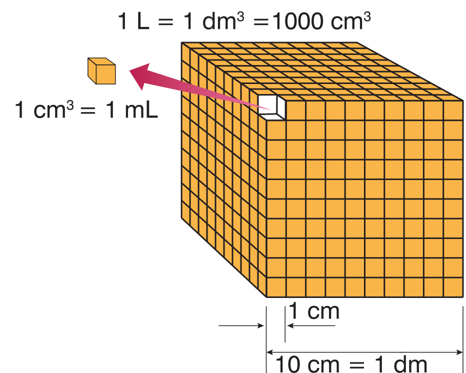
$x = \frac{95}{760} = 0,125$ atm

## Hacim

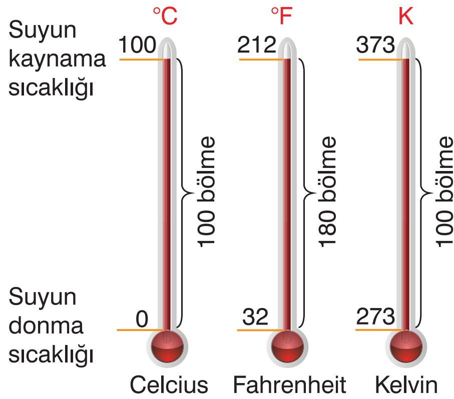
Bir maddenin boşlukta kapladığı yer o maddenin hacmidir. Hacim, uzunluğun küpüdür. SI birim sisteminde uzunluğun birimi metredir. Dolayısıyla hacim birimi de metre küp ($m^3$)'tür. Hacim birimleri olarak desimetre küp ($dm^3$), santimetre küp ($cm^3$) gibi küçük hacim birimleri de kullanılır (Şekil 2.1.4).

Kimya ile ilgili çalışmalarda sıvıların ve gazların hacimleri belirtilirken genellikle litre (L) birimi kullanılır. Daha küçük hacim çalışmalarında mililitre (mL) birimi tercih edilir.

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mL}$$




*Şekil 2.1.4:* Hacim birimlerinin karşılaştırılması




*Şekil 2.1.5:* Sıcaklık ölçekleri suyun donma ve kaynama sıcaklık değerlerine göre belirlenmiştir. Celcius ve Kelvin ölçeklerinde iki sıcaklık değeri arası 100 eşit bölmeye, Fahrenheit ölçeğinde 180 eşit bölmeye ayrılmıştır.

## Sıcaklık

Bir sıcaklık ölçeği oluşturmak için keyfi olarak sabit iki sıcaklık değeri belirlenir. Genel olarak bu iki sabit sıcaklık değeri standart atmosfer basıncında suyun donma ve kaynama sıcaklıklarıdır. Yaygın olarak üç sıcaklık ölçeği kullanılmaktadır. Bunlar Celcius (°C), Fahrenheit (°F) ve Kelvin (K)'dir (Şekil 2.1.5).

Gazların davranışları sıcaklığa bağlı olduğundan gazları tanımlarken sıcaklık değeri de verilmelidir. SI birim sisteminde sıcaklığın birimi Kelvin'dir. Sıcaklık Celcius ölçeğinde "t", Kelvin ölçeğinde "T" sembolü ile gösterilir. Gazlarla ilgili hesaplamalarda Celcius ve Kelvin ölçekleri arasındaki dönüşüm aşağıdaki eşitlik ile yapılır:

$$T\ (K) = t\ (°C) + 273$$

**Örnek 2**

**Aşağıdaki sıcaklık ölçekleri arasındaki dönüşümleri yapınız.**

**a) 25 °C = ? K**

**b) 273 K = ? °C**

**Çözüm 2**

**a)** $T\,(K) = t\,(°C) + 273$

$T = 25 + 273$

$T = 298\ K$

**b)** $T\,(K) = t\,(°C) + 273$

$273 = t + 273$

$t = 0\ °C$

**Bilgi Notu**

*Fahrenheit ölçeği laboratuvar çalışmaları hariç çoğunlukla yabancı ülkelerde kullanılan bir sıcaklık ölçeğidir. Kitap genelinde sıcaklıktan bahsedilirken Celcius veya Kelvin ölçekleri kullanılacaktır.*

## Miktar

Karbon–12 izotopunun 12,00 gramında bulunan atom sayısına eşit tanecik (atom, molekül veya iyon) içeren gazın madde miktarı 1 mol'dür. Dolayısıyla 1 mol gaz, Avogadro sayısı kadar yani $6{,}02 \cdot 10^{23}$ tane tanecik içerir. Gazların davranışları incelenirken gazların miktarı, gazların mol kütlesi ile ilişkilendirilerek mol sayısı olarak verilir. Örneğin belirli sıcaklıkta ve basınçta kütlesi 22 g olan $CO_2$ gazı ($CO_2$ için $M_A$ = 44 g/mol) 0,5 mol olarak ifade edilir.

## 2.1.2 GAZ YASALARI

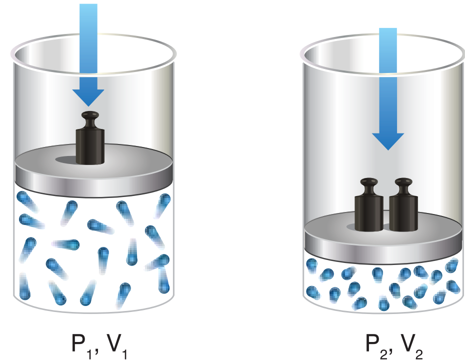
Günlük hayatta gazlarla ilgili birçok olay gazların basınç, hacim, sıcaklık ve miktar gibi dört temel özelliği ile yakından ilişkilidir. Bu dört temel özellik arasındaki belirli ilişkiler gaz yasaları olarak adlandırılır. Gaz yasaları dört temel özelliğin ikisi sabit tutulduğunda diğer ikisinde oluşan değişimleri açıklamak için yapılan gözlemlerden çıkarılmıştır. Gazların dört temel özelliği

ile ilgili deneysel gözlemler Robert Boyle (Rabırt Boyl), Jacques Charles (Jak Çarls), Joseph Gay-Lussac (Cozef Gey-Lusak) ve Amedeo Avogadro (Amedeo Avogadro) gibi bilim insanları tarafından gerçekleştirilmiş ve gaz yasaları olarak ortaya konmuştur. Gaz yasaları başta atom gerçeği ile ilgili inanışlara katkıda bulunmuş ve kimyada birçok yeni düşüncenin geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır.

Gaz yasalarına ilişkin açıklamalar, özellikle formüller ve grafikler gibi matematiksel yetkinlikleri içermektedir. Gaz yasalarıyla ilgili formüllerin kullanılması ve grafiklerin yorumlanması sağlam bir aritmetik bilgi ve becerisini gerektirir. Bu konuda ortaya konulacak bilgi ve beceri günlük hayatta karşılaşılan bir dizi problemlerin çözümüne ve matematiksel düşünme tarzının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Şimdi, bilim insanlarınca ortaya konulan ve gazların davranışlarının ifade edildiği gaz yasalarını inceleyelim.

### Boyle Yasası

Gazların özellikleri ile ilgili deneysel gözlemler ilk defa 1662 yılında Robert Boyle tarafından incelenmiştir. Deneysel gözlemlerinden hareketle Boyle, sabit sıcaklıkta belirli bir miktar gazın hacminin, gaza uygulanan basınç artırıldığında azalacağı sonucuna vardı (Şekil 2.1.6).




***Şekil 2.1.6:*** Sabit sıcaklıkta, belirli miktardaki gaza basınç uygulandığında gaz sıkışır ve hacmi küçülür.

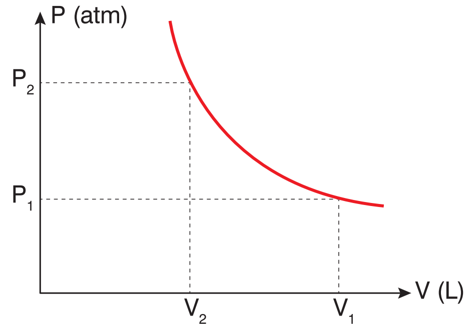
Sabit sıcaklıkta belirli bir miktar gazın basıncı hacme karşı grafiğe geçirildiğinde bir eğri elde edilir (Grafik 2.1.1). Grafikten elde edilen sonuç Boyle Yasası'nı ifade eder. **Boyle Yasası**'na göre *"Sabit sıcaklıkta, belirli bir miktar gazın hacmi, basıncı ile ters orantılıdır."* P basıncı; V hacmi göstermek üzere bu orantı aşağıdaki gibi yazılır:

$$P \alpha \frac{1}{V} \text{ veya } P \cdot V = \text{Sabit}$$

Boyle Yasası'ndaki bu orantı, sabit sıcaklıkta, belirli bir miktardaki gazın basıncı ile hacminin çarpımının sabit olduğunu ifade eder. Sabit sıcaklıkta ve belirli bir miktarda verilen bir gaz örneği için basınç ve hacim değişmesine rağmen basınç ve hacim çarpımı değişmemektedir. Daima sabit bir değere sahiptir. Belirli şartlardaki böyle bir gazın ilk ve son durumu için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$P_1 \cdot V_1 = \text{Sabit} \qquad P_2 \cdot V_2 = \text{Sabit}$$

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$




***Grafik 2.1.1:*** Sabit sıcaklıkta belirli miktardaki gazın basınç-hacim değişimi grafiği

## Örnek 3

**Sabit sıcaklıkta sürtünmesiz pistonlu kapta 6 L hacim kaplayan gazın basıncı 0,25 atm'dir. Gazın basıncı 1,5 atm'e çıkarıldığında hacmi kaç litre olur?**

## Çözüm 3

$P_1 = 0,25$ atm

$V_1 = 6$ L

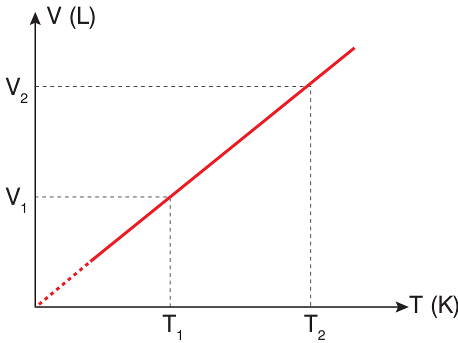
$P_2 = 1,5$ atm

$V_2 = ?$ L

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$0,25 \cdot 6 = 1,5 \cdot V_2$$

$$V_2 = \frac{0,25 \cdot 6}{1,5} = 1 \text{ L}$$




*Grafik 2.1.2:* Sabit basınçta, belirli miktardaki gazın mutlak sıcaklığı artırılırsa hacmi de artar. Sıcaklığa karşı hacim değerleri bir doğru verir.

### Charles Yasası

Sıcak hava balonları ile uçmaya olan ilgisi nedeniyle Jacques Charles, havadan daha hafif olan hidrojen gazını kullanarak yaptığı hidrojen balonunu uçurmayı başardı. Balonların performansını artırmak için yaptığı çok sayıda deneyler sonucunda, 1787 yılında gazların hacimleri ile sıcaklıkları arasında bir ilişkinin olduğunu keşfetti.

Sabit basınçta, belirli miktardaki gazın sıcaklığı Kelvin cinsinden alınırsa hacim ile mutlak sıcaklık arasında bir doğru elde edilir (Grafik 2.1.2). Grafikten elde edilen sonuç Charles Yasası'nı ifade eder. **Charles Yasası**'na göre *"Sabit basınçta, belirli bir miktar gazın hacmi, mutlak sıcaklığı ile doğru orantılıdır."* V hacmi; T mutlak sıcaklığı göstermek üzere bu orantı aşağıdaki gibi yazılır:

$$V \propto T \quad \text{veya} \quad \frac{V}{T} = \text{Sabit}$$

Charles Yasası'ndaki bu orantı, sabit basınçta, belirli miktardaki bir gazın hacminin mutlak sıcaklığa oranının daima sabit olduğunu ifade eder. Belirli şartlardaki böyle bir gazın ilk ve son durumu için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\frac{V_1}{T_1} = \text{Sabit} \qquad \frac{V_2}{T_2} = \text{Sabit}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

### Unutmayalım



*–273,15 °C veya 0 K sıcaklığa **mutlak sıfır noktası** denir. Gazlarla ilgili hesaplamalarda –273,15 °C değeri yerine genellikle –273 °C değeri kullanıldığından konu genelinde gazlarla ilgili hesaplamalarda bu değer kullanılacaktır.*

**Örnek 4**

**Sabit basınçlı sürtünmesiz pistonlu kapta bulunan gazın sıcaklığı 400 K ve hacmi 3 L'dir. Gazın hacminin 4,5 L olması için sıcaklığı kaç Kelvin olmalıdır?**

**Çözüm 4**

$V_1 = 3\,L$

$T_1 = 400\,K$

$V_2 = 4,5\,L$

$T_2 = ?\,K$

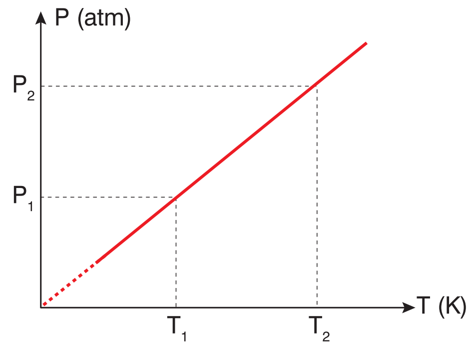
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{3}{400} = \frac{4,5}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{400 \cdot 4,5}{3} = 600\,K$$

## Gay-Lussac Yasası

Sıcak hava balonları ile uçma isteğinin arttığı yıllarda, bilim insanları gazlarla ilgili bağımsız olarak birçok deneysel çalışmalarda bulundular. Gazlarla ilgili benzer bir açıklama 1802 yılında Joseph Gay-Lussac tarafından yapıldı. Gay-Lussac, sabit hacimli bir kapta, belirli miktardaki gazın sıcaklığının basıncı ile doğrusal olarak değiştiğini belirtti.

Sabit hacimde, belirli miktardaki gazın sıcaklığı Kelvin cinsinden alınırsa basınç ile mutlak sıcaklık arasında bir doğru elde edilir (Grafik 2.1.3). Grafikten elde edilen sonuç Gay-Lussac Yasası'nı ifade eder. **Gay-Lussac Yasası**'na göre *"Sabit hacimde, belirli bir miktar gazın basıncı, mutlak sıcaklığı ile doğru orantılıdır."* P basıncı; T mutlak sıcaklığı göstermek üzere bu orantı aşağıdaki gibi yazılır:




*Gafik 2.1.3:* Sabit hacimli bir kapta, belirli miktardaki gazın mutlak sıcaklığı artırılırsa basıncı da artar. Sıcaklığa karşı basınç değerleri bir doğru verir.

$$P \propto T \quad \text{veya} \quad \frac{P}{T} = \text{Sabit}$$

Gay-Lussac Yasası'ndaki bu orantı, sabit hacimde, belirli miktardaki bir gazın basıncının mutlak sıcaklığa oranının daima sabit olduğunu ifade eder. Belirli şartlardaki böyle bir gazın ilk ve son durumu için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\frac{P_1}{T_1} = \text{Sabit} \qquad \frac{P_2}{T_2} = \text{Sabit}$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

**Uyarı**



*Sabit basınçta, belirli miktardaki bir gazın Celcius sıcaklığı iki katına çıkarıldığında gazın hacmi iki kat artmaz. Ancak Kelvin sıcaklığı iki katına çıkarıldığında gazın hacmi iki kat artar. Benzer durum basınç-sıcaklık değişimi için de geçerlidir.*

## Örnek 5

**Sabit hacimli kapta, belirli miktardaki bir gazın basıncı 6 atm ve sıcaklığı 600 K'dir. Aynı şartlarda gazın sıcaklığı 200 K'e düşürülürse basıncı kaç atmosfer olur?**

## Çözüm 5

$P_1 = 6$ atm

$T_1 = 600$ K

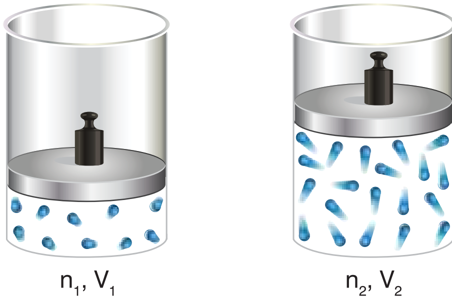
$T_2 = 200$ K

$P_2 = ?$ atm

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{6}{600} = \frac{P_2}{200}$$

$$P_2 = \frac{6 \cdot 200}{600} = 2 \text{ atm}$$

### Avogadro Yasası

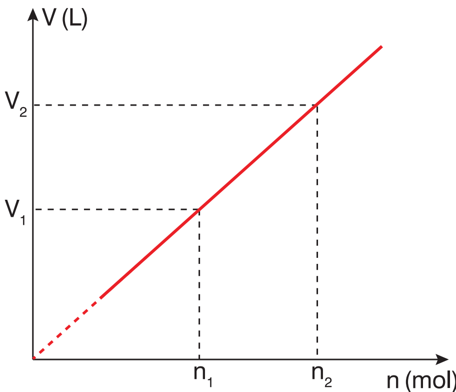



*Şekil 2.1.7:* Sabit basınç ve sıcaklıkta gazın miktarı artırıldığında hacmi de artar.

Bir lastik balona hava üflendiğinde lastik balon içindeki havanın basıncı, atmosfer basıncına eşit oluncaya kadar balonun şişmesine neden olur. Balona hava üflendikçe balonun içindeki hava miktarı artacağından balonun hacmi de artar. Balon içindeki hava dışarı verildiğinde ise balonun hacmi azalır. Lastik balon şişirildiğinde hacminin azalıp artmasına benzer bir durum Şekil 2.1.7'de verilmiştir. Basınç ve sıcaklık değiştirilmeden gazın miktarı artırıldığında hacmi de artmaktadır.

Sabit basınç ve sıcaklıkta hacme karşı miktar grafiğe geçirildiğinde bir doğru elde edilir (Grafik 2.1.4). Grafikten elde edilen sonuç Avogadro Yasası'nı ifade eder. **Avogadro Yasası**'na göre "*Sabit basınçta ve sıcaklıkta bütün gazların eşit hacimlerinde eşit sayıda molekül (gaz tek atomlu ise atom) vardır.*" V hacmi; n mol sayısını göstermek üzere bu orantı aşağıdaki gibi yazılır:

$$V \propto n \quad \text{veya} \quad \frac{V}{n} = \text{Sabit}$$




*Grafik 2.1.4:* Sabit basınç ve sıcaklıkta gazın miktarı artırıldığında hacmi de artar. Gaz miktarına karşı hacim değerleri bir doğru verir.

Avogadro Yasası'ndaki bu orantı, sabit basınçta ve sıcaklıkta bir gazın hacminin mol sayısına oranının daima sabit olduğunu ifade eder. Belirli şartlardaki böyle bir gazın ilk ve son durumu için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\frac{V_1}{n_1} = \text{Sabit} \qquad \frac{V_2}{n_2} = \text{Sabit}$$

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

## Örnek 6

**Sabit basınçta ve sıcaklıkta 4 g $H_2$ gazı 60 L hacim kaplamaktadır. Aynı şartlarda 32 g $SO_2$ gazı kaç litre hacim kaplar** *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol, S: 32 g/mol)?*

## Çözüm 6

$m_1 = 4$ g

$V_1 = 60$ L

$m_2 = 32$ g

$V_2 = ?$ L

$H_2$ için $M_A = 2$ g/mol

$$n_1 = \frac{m_1}{M_A} = \frac{4}{2} = 2 \text{ mol}$$

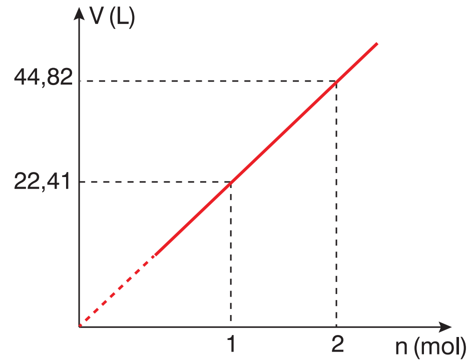
$SO_2$ için $M_A = 64$ g/mol

$$n_2 = \frac{m_2}{M_A} = \frac{32}{64} = 0,5 \text{ mol}$$

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \Rightarrow \frac{60}{2} = \frac{V_2}{0,5} \Rightarrow V_2 = 15 \text{ L}$$

Gazların özelliklerinin basınç ve sıcaklığa bağlı olarak değişmesinden dolayı gazları tartışmak için bir referans noktasının belirlenmesi, diğer bir ifadeyle sabit bir basınç ve sıcaklığın belirlenmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu durum, özellikle gazların birbirleriyle kıyaslanmasında oldukça önemlidir.

Gazlar için belirtilen sabit basınç ve sıcaklık şartlarından biri normal şartlar, diğeri de oda şartlarıdır. **Normal şartlar** (NŞ), 1 atmosfer basınç ve 0 °C (273 K) sıcaklıktır. Grafik 2.1.5 incelendiğinde normal şartlarda 1 mol ideal gazın hacminin 22,41 L olduğu görülür. Bundan dolayı Avogadro Yasası, "*Normal şartlarda 1 mol ideal gaz 22,41 L hacim kaplar.*" şeklinde de tanımlanabilir. **Oda şartları** ise 1 atmosfer basınç ve 25 °C (298 K) sıcaklıktır. Oda şartlarında 1 mol ideal gaz 24,50 L hacim kaplar. Tablo 2.1.2'de bazı gazların normal şartlarda birer molünün hacimleri verilmiştir. İnceleyiniz.




*Grafik 2.1.5:* Normal şartlarda 1 mol gaz 22,41 L hacim kaplar.

*Tablo 2.1.2:* Bazı gazların normal şartlarda birer molünün hacimleri

| Gazın türü | Gazın hacmi (L) |
|---|---|
| İdeal gaz | 22,41 |
| Helyum (He) | 22,42 |
| Argon (Ar) | 22,39 |
| Hidrojen ($H_2$) | 22,43 |
| Azot ($N_2$) | 22,40 |
| Oksijen ($O_2$) | 22,39 |
| Karbon dioksit ($CO_2$) | 22,26 |

Tablo 2.1.1'de verilen hacim değerleri incelendiğinde, normal şartlarda birer mol gazların hacimlerinin ideal gazın hacmine çok yakın olduğu sonucu çıkarılabilir.

**Alıştırma 1**

**16 g $O_2$ gazının 20 L hacim kapladığı şartlarda 11 g $CO_2$ gazı kaç litre hacim kaplar** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol)?*

## 1. ETKİNLİK GAZ YASALARININ GRAFİKLERDE YORUMLANMASI

**Etkinliğin Amacı:**

Gazlara ilişkin basınç, hacim, sıcaklık ve miktar gibi verileri kullanarak gaz yasaları ile ilgili grafikleri çizmek ve yorumlamak.

**Araç Gereçler:**

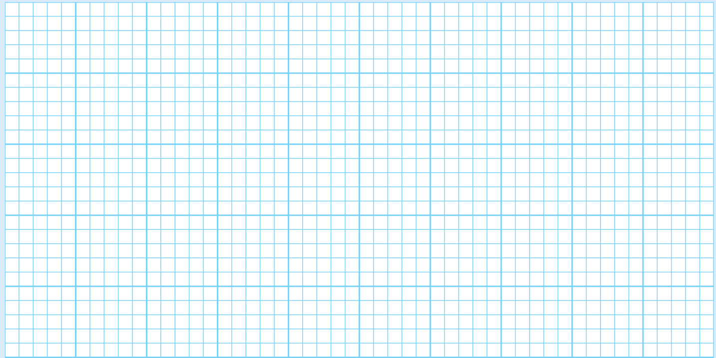
Hazır veriler, milimetrik kâğıt

**Etkinliğin Yapılışı:**

1. GRAFİK: Tablo 2.1.2'deki verileri kullanarak sabit sıcaklıkta ve belirli bir miktardaki gazın basınç (P)-hacim (V) grafiğini çiziniz.

Tablo 2.1.2: Sabit sıcaklıkta ve belirli bir miktardaki gazın basınç ve hacim değerleri

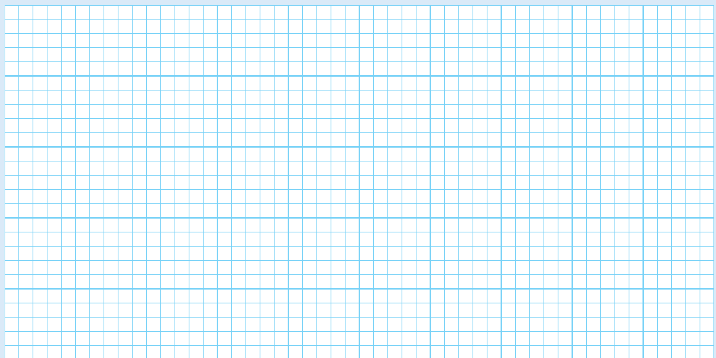
| P (atm) | V (L) |
|---|---|
| 0,1 | 60 |
| 0,2 | 30 |
| 0,3 | 20 |
| 0,4 | 15 |
| 0,5 | 12 |



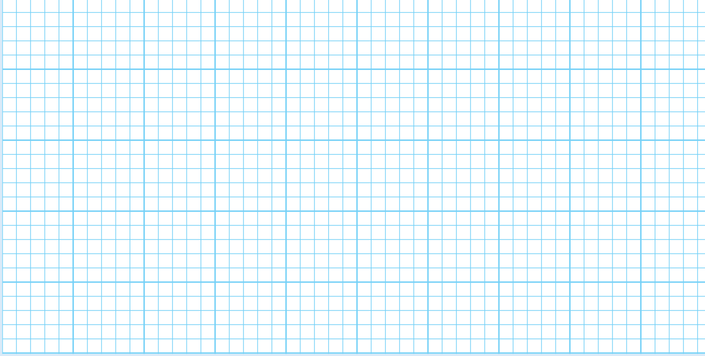
2. GRAFİK: Tablo 2.1.3'teki verileri kullanarak sabit basınçta ve belirli bir miktardaki gazın hacim (V)-sıcaklık (T) grafiğini çiziniz.

Tablo 2.1.3: Sabit basınçta ve belirli bir miktardaki gazın hacim ve sıcaklık değerleri

| V (L) | T (K) |
|---|---|
| 15 | 50 |
| 30 | 100 |
| 60 | 200 |
| 120 | 400 |
| 240 | 800 |



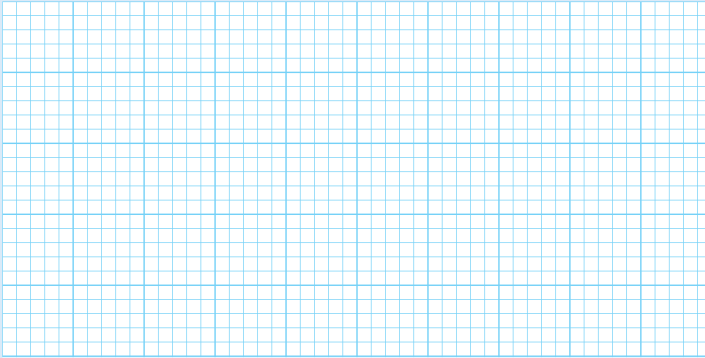
3. GRAFİK: Tablo 2.1.4'teki verileri kullanarak sabit hacimde ve belirli bir miktardaki gazın basınç (P)-sıcaklık (T) grafiğini çiziniz.



Tablo 2.1.4: Sabit hacimde ve belirli bir miktardaki gazın basınç ve sıcaklık değerleri

| P (atm) | T (K) |
|---|---|
| 0,5 | 100 |
| 1,0 | 200 |
| 2,0 | 400 |
| 4,0 | 800 |
| 8,0 | 1600 |

4. GRAFİK: Tablo 2.1.5'teki verileri kullanarak sabit basınçta ve sıcaklıktaki gazın hacim (V)-miktar (n) grafiğini çiziniz.



Tablo 2.1.5: Sabit basınçta ve sıcaklıkta bir gazın hacim ve mol sayısı değerleri

| V (L) | n (mol) |
|---|---|
| 50 | 1 |
| 100 | 2 |
| 150 | 3 |
| 200 | 4 |
| 250 | 5 |

**Etkinlik Sonu Soruları:**

**1.** Çizilen 1. grafiği yorumlayınız. Basınç (P)-hacim (V) ilişkisinin hangi gaz yasasını açıkladığını belirtiniz.

**2.** Çizilen 2. grafiği yorumlayınız. Hacim (V)-sıcaklık (T) ilişkisinin hangi gaz yasasını açıkladığını belirtiniz.

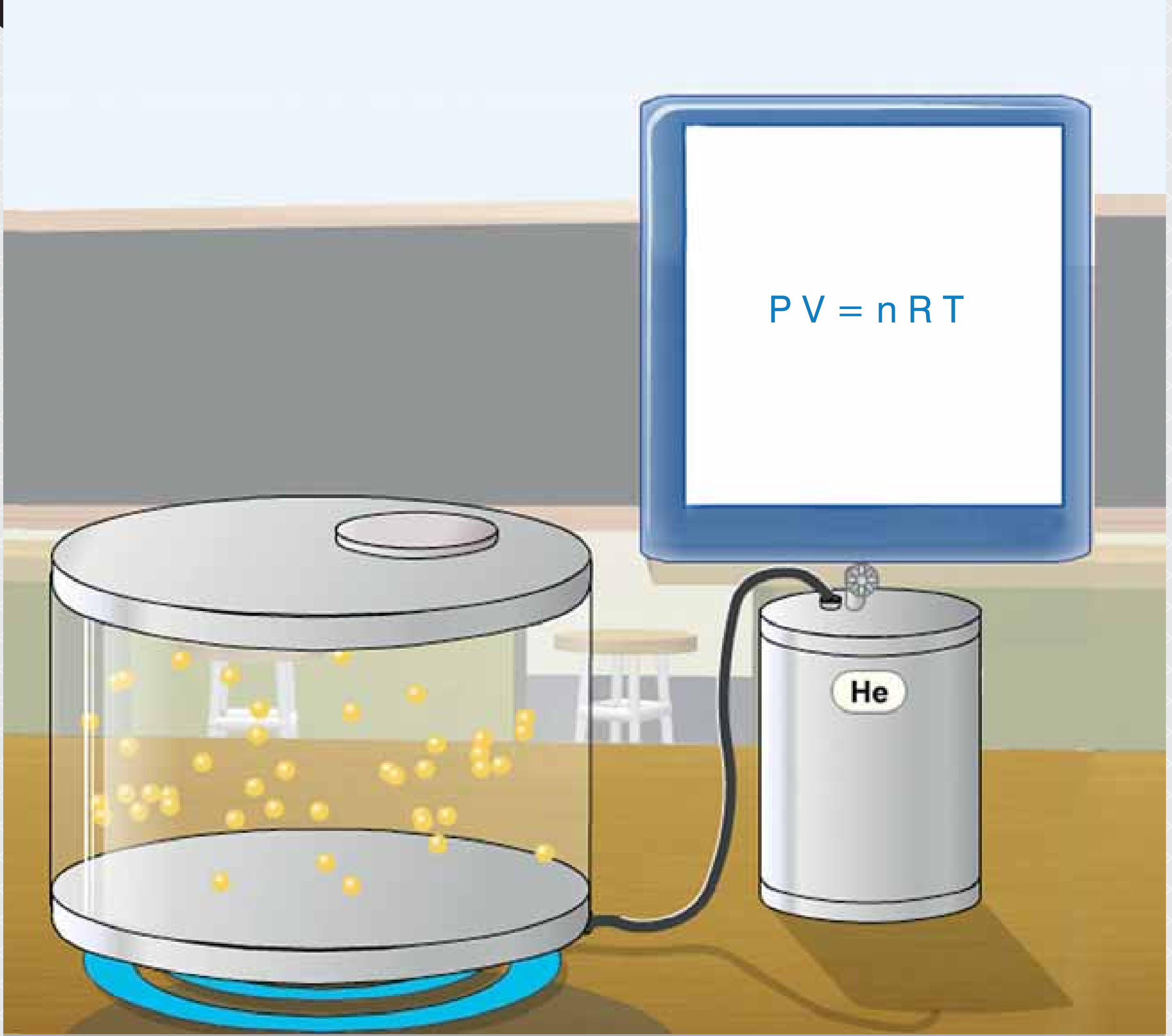
**3.** Çizilen 3. grafiği yorumlayınız. Basınç (P)-sıcaklık (T) ilişkisinin hangi gaz yasasını açıkladığını belirtiniz.

**4.** Çizilen 4. grafiği yorumlayınız. Hacim (V)-miktar (n) ilişkisinin hangi gaz yasasını açıkladığını belirtiniz.

Temeli vicdanlara atılmış olan adalet, ön yargısız bir şekilde defalarca gözden geçirilerek ortaya konulmuş yasalar sayesinde sağlanır. Gaz yasaları da tıpkı adaletin sağlanmasında başvurulan yasalar gibi dört temel fiziksel özelliğin (basınç, hacim, sıcaklık ve miktar) ikisi sabit tutulduğunda diğer ikisinde oluşan değişimleri izah etmek için bilim insanları tarafından birçok deneyler ve gözlemler gerçekleştirilerek ortaya konulmuş yasalardır.

# 2. Bölüm

## İDEAL GAZ YASASI




### Konular



### Bölümde

Herhangi bir gaz örneği, o gazın basıncı, hacmi, sıcaklığı (Kelvin) ve miktarı (mol sayısı) cinsinden tanımlanabilir. Bu değişkenlerin herhangi üçü, dördüncü değişkeni belirler. Boyle, Charles, Gay-Lussac ve Avogadro yasaları bu değişkenler arasındaki ilişkileri verir.

İdeal gaz, gaz yasalarına tam olarak uyan bir gazdır. Birçok gaz ideallikten az ya da çok sapma gösterir. Fakat normal şartlarda bu sapmalar genellikle ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

## 2.2.1 İDEAL GAZ DENKLEMİ

İdeal gaz davranışlarının açıklanmasında basınç (P), hacim (V), sıcaklık (T) ve mol sayısı (n) gibi değişkenler önemlidir. Bu değişkenlerden ikisi sabit tutularak diğer iki değişken arasındaki ilişki incelenebilir. Boyle, Charles ve Avogadro yasalarının her üçü de iki değişkenin sabit kaldığı durumda, hacim değişikliğine karşı bir değişkenin etkisini açıklar. Gaz yasaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

| | |
|---|---|
| Boyle Yasası | $V \propto \frac{1}{P}$ (n ve T sabit) |
| Charles Yasası | $V \propto T$ (n ve P sabit) |
| Avogadro Yasası | $V \propto n$ (P ve T sabit) |

Gaz yasalarının bu üç eşitliğine göre bir gazın hacmi basıncı ile ters orantılı, mutlak sıcaklık ve mol sayısı ile doğru orantılıdır. Bu ifade matematiksel olarak şöyle ifade edilebilir:

$$V \propto \frac{nT}{P} \Rightarrow PV \propto nT$$

İfadede " $\propto$ " yerine "R" yazılıp eşitlik yeniden düzenlendiğinde aşağıdaki denklem elde edilir:

$$PV = nRT$$

Gaz yasalarından elde edilen "$PV = nRT$" denklemine **ideal gaz denklemi** (ideal gaz yasası) denir. Denklemde R, gaz yasaları için orantı sabiti olup **gaz sabiti** olarak adlandırılır.

Gazların birçoğu normal şartlarda yani 1 atmosfer basınçta ve 0 $^{o}$C'ta (273 K) ideal gaz gibi davranır. Normal şartlarda 1 mol ideal gazın 22,41 L hacim kapladığı dikkate alınırsa eşitlik aşağıdaki gibi yazılıp gaz sabiti R'nin değeri belirlenebilir:

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{(1\ atm)\cdot(22,41\ L)}{(1\ mol)\cdot(273\ K)} = 0,082\ L\cdot atm/mol\cdot K$$

İdeal gaz denklemi, gaz hâlindeki bir maddenin yoğunluğunun hesaplanmasında da kullanılabilir. İdeal gaz denkleminde gazın mol sayısı olan "n" şöyle yazılabilir:

**Bilgi Notu**



*Gazlarla ilgili hesaplamalarda, normal şartlarda 1 mol gazın hacmi 22,4 L olarak alınır.*

$$n = \frac{m}{M_A}$$

Eşitlikteki “m” gazın kütlesini, “$M_A$” ise gazın mol kütlesini ifade eder. İdeal gaz denkleminde “n” yerine “$m/M_A$” yazılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$PV = \frac{m}{M_A} \cdot RT$$

Yoğunluk (d), birim hacimdeki kütle olduğundan yukarıdaki eşitlik şöyle yazılabilir:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{P M_A}{RT}$$

Eşitlikten, gazların yoğunluğunun mol kütlesinin artışına bağlı olarak arttığı, sıcaklık artışına bağlı olarak azaldığı anlaşılmaktadır. Herhangi bir gazın yoğunluğu, bilinen basınç ve sıcaklık altında ölçüldüğünde bu gazın mol kütlesi de hesaplanabilir.

### Örnek 7

**0 °C'ta 11,2 L'lik kapta 1,5 mol He gazının kaba uyguladığı basıncı atmosfer cinsinden hesaplayınız.**

### Çözüm 7

$t = 0\,°C$

$V = 11,2\ L$

$n = 1,5\ mol$

$R = 0,082\ L \cdot atm/mol \cdot K$

$P = ?\ atm$

$T\,(K) = t\,(°C) + 273$

$T\,(K) = 0 + 273$

$T\,(K) = 273\ K$

$$PV = nRT \Rightarrow P = \frac{nRT}{V}$$

$$P = \frac{(1,5\ mol)\cdot(0,082\ L \cdot atm/mol \cdot K)\cdot(273\ K)}{11,2\ L} = 3\ atm$$

## Uyarı



*Gazlarla ilgili hesaplamalarda, genellikle basınç birimi atmosfer, hacim birimi litre kullanılır. Sıcaklık birimi ise daima Kelvin'dir. Problemlerde verilen Celcius birimini Kelvin birimine dönüştürmeyi unutmayınız.*

$$T\,(K) = t\,(°C) + 273$$

### Örnek 8

**27 °C'ta 4 g $CH_4$ gazının kaba uyguladığı basınç 0,2 atm'dir. Kabın hacmini litre cinsinden hesaplayınız** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol).*

## Çözüm 8

$t = 27\ °C$

$m = 4\ g$

$P = 0,2\ atm$

$R = 0,082\ L \cdot atm/mol \cdot K$

$V = ?\ L$

$T(K) = t(°C) + 273$

$T(K) = 27 + 273 = 300\ K$

$CH_4$ için $M_A = 12 + (4 \cdot 1) = 16\ g/mol$

$$n = \frac{m}{M_A} = \frac{4}{16} = 0,25\ mol$$

$$PV = nRT \Rightarrow V = \frac{nRT}{P}$$

$$V = \frac{(0,25\ mol) \cdot (0,082\ L \cdot atm/mol \cdot K) \cdot (300\ K)}{0,2\ atm} = 30,75\ L$$

## Örnek 9

**Bir depolama tankında 608 Torr basınçta ve 30 °C sıcaklıkta He gazı bulunmaktadır. Tankın hacmi 5 L olduğuna göre He gazı kaç gramdır** *(He: 4 g/mol)?*

## Çözüm 9

$t = 30\ °C$

$P = 608\ Torr$

$V = 5\ L$

$R = 0,082\ L \cdot atm/mol \cdot K$

$m = ?\ g$

$T(K) = t(°C) + 273$

$T(K) = 30 + 273$

$T(K) = 303\ K$

1 atm 760 Torr ise

x 608 Torr

$$x = \frac{608}{760} = 0,8\ atm$$

$$PV = nRT \Rightarrow n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{(0,8\ atm) \cdot (5\ L)}{(0,082\ L \cdot atm/mol \cdot K) \cdot (303\ K)} = 0,16\ mol$$

1 mol He 4 g ise

0,16 mol He x

$x = 0,16 \cdot 4 = 0,64\ g$

## Örnek 10

**0 °C'ta 0,56 atm basınç altındaki azot gazının ($N_2$) yoğunluğunu hesaplayınız** *(N: 14 g/mol)?*

## Çözüm 10

t = 0 °C

$N_2$ gazı için $M_A$ = 28 g/mol

R = 0,082 L · atm/mol · K

P = 0,56 atm

d = ? g/L

T (K) = t (°C) + 273

T (K) = 0 + 273 = 273 K

$$d = \frac{P\,M_A}{R\,T}$$

$$d = \frac{(0,56\ \text{atm}) \cdot (28\ \text{g/mol})}{(0,082\ \text{L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}) \cdot (273\ \text{K})}$$

$$d = 0,7\ \text{g/L}$$

## Bilgi Notu



*Gaz tanecikleri katı ve sıvı taneciklerine göre oldukça büyük yer kaplar. Dolayısıyla atmosfer şartlarında gazların yoğunluğu çok düşüktür. Bu nedenle gazların yoğunlukları genellikle g/mL yerine g/L olarak ifade edilir.*

## Örnek 11

**0,25 mol $SO_2$ gazı;**

**a) Kaç gramdır** *(O: 16 g/mol, S: 32 g/mol)?*

**b) Normal şartlarda kaç litre hacim kaplar?**

## Çözüm 11

**a)** $SO_2$ için $M_A$ = 32 + (2 · 16) = 64 g

1 mol $SO_2$ gazı — 64 g ise

0,25 mol $SO_2$ gazı — x

x = 0,25 · 64 = 16 g $SO_2$

**b)** NŞ'da 1 mol $SO_2$ gazı — 22,4 L ise

0,25 mol $SO_2$ gazı — x

x = 0,25 · 22,4 = 5,6 L $SO_2$

## Örnek 12

**6 g $C_2H_6$ gazı;**

**a) Kaç moldür** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol)?*

**b) Normal şartlarda kaç litre hacim kaplar?**

## Çözüm 12

**a)** $C_2H_6$ için $M_A = (2 \cdot 12) + (6 \cdot 1) = 30$ g

1 mol $C_2H_6$ gazı 30 g ise

x 6 g

$$x = \frac{6}{30} = 0,2 \text{ mol } C_2H_6$$

**b)** NŞ'da 1 mol $C_2H_6$ gazı 22,4 L ise

0,2 mol $C_2H_6$ gazı x

$x = 0,2 \cdot 22,4 = 4,48$ L $C_2H_6$

## Örnek 13

**Normal şartlarda 3,36 L hacim kaplayan $NO_2$ gazı kaç moldür?**

## Çözüm 13

NŞ'da 1 mol $NO_2$ gazı 22,4 L ise

x 3,36 L

$$x = \frac{3,36}{22,4} = 0,15 \text{ mol } NO_2$$

## Alıştırma 2

**1. 5,6 L'lik kapta ve 273 °C'ta 0,125 mol $SO_3$ gazı bulunmaktadır. Buna göre kaptaki gazın basıncı kaç atmosferdir?**

**2.** $KClO_3(k) \xrightarrow{\text{ısı}} KCl(k) + 3/2\, O_2(g)$

**Yukarıda verilen tepkimeye göre 4,9 g $KClO_3$ katısı ısıtılıyor. Açığa çıkan gaz 11,2 L'lik kapta toplanıyor. Toplanan gazın sıcaklığı 25 °C olduğuna göre gaz basıncı kaç atmosferdir** *(O: 16 g/mol, Cl: 35,5, K: 39 g/mol)?*

**3. 215 °C'ta 950 mmHg basınç altındaki metan ($CH_4$) gazının yoğunluğunu hesaplayınız** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol)?*

**4. 0,05 mol $NH_3$ gazı;**

**a) Kaç gramdır** *(H: 1 g/mol, N: 14 g/mol)?*

**b) Normal şartlarda kaç litre hacim kaplar?**

# 3. Bölüm GAZLARDA KİNETİK TEORİ




## Konular



## Bölümde

Gaz yasaları, gazların davranışlarını açıklamakta yardımcı olmasına rağmen, makroskobik olarak gözlemlenen değişimlerin moleküler düzeyde nasıl gerçekleştiğini örneğin ısıtılan gazın neden genleştiği sorusunu açıklayamaz.

Bazı bilim insanları, gazların davranışları ile ilgili gaz yasalarının açıklayamadığı bu durumun, gaz moleküllerinin bireysel hareketlerine bağlı olarak açıklanabileceğini ileri sürmüşlerdir. Moleküllerin hareketi, enerji şeklinde gerçekleşir. Farklı enerji türleri vardır. Hareket enerjisi olarak da adlandırılan kinetik enerji (KE), bu enerji türlerinden biridir.

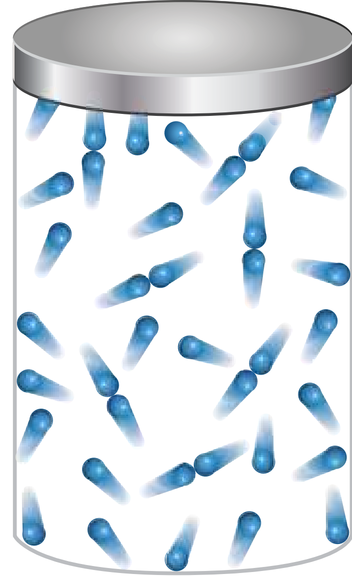
Bilim insanlarının gazlarla ilgili deneysel gözlemleri, gazların davranışlarını moleküler düzeyde açıklayabilmek için "Kinetik Teori" olarak bilinen bazı genellemeler ile sonuçlanmıştır.

## 2.3.1 KİNETİK TEORİ

19. yüzyılın ortalarında, gazlarla ilgili deneysel çalışmalarda bulunan James Maxwell (Ceyms Maksvel) ve Ludwig Boltzmann (Ludvig Boltzman) gibi bilim insanları, gazların temel özelliklerinin, gaz moleküllerin bireysel hareketlerine bağlı olarak açıklanabileceğini ileri sürdüler.

Maxwell, Boltzmann ve diğer bilim insanlarının gazların davranışları hakkındaki ifadeleri, "Kinetik Teori" adı altında genelleştirilmiştir. Kinetik teori, dört temel varsayıma dayanır. Bu temel varsayımlar şunlardır:

1. Gaz molekülleri arasında büyük boşluklar bulunur. Gaz moleküllerinin gerçek hacmi, moleküller arasındaki boşluk yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür.
2. Gaz molekülleri arasında itme ve çekme kuvvetlerinin olmadığı kabul edilir.
3. Farklı gaz moleküllerinin aynı sıcaklıkta ortalama kinetik enerjileri birbirine eşittir.
4. Gaz molekülleri rastgele ve her yöne bir doğru boyunca hareket eder. Bu hareketleri sırasında birbirleriyle ve bulunduğu kabın çeperleri ile sık sık çarpışma yapar (Şekil 2.3.1).



*Şekil 2.3.1:* Gaz tanecikleri, bir doğru boyunca, rastgele ve her yöne hareket eder.

Bu varsayımlar "ideal gaz" tanımının temeli olup bu varsayımlara ihmal edilebilir farklarla uyan gazlar "ideale yakın gaz" olarak nitelendirilir.

## 2.3.2 GAZLARIN DİFÜZYONU VE EFÜZYONU

Günlük hayatta farklı kokular algılanır. Bu kokuların algılanmasının nedeni, gaz hâlindeki maddelerin bulundukları ortamda rastgele ve her yöne yayılmalarıdır. Bununla birlikte kokusunun algılanamadığı bazı gazlar da vardır. Örneğin renksiz bir gaz olan karbon monoksit bu gazlardandır. Isınmak için yakılan sobalarda kömürün (karbonun) yetersiz miktarda oksijen gazıyla yanmasından oluşan karbon monoksit gazı solunduğunda zehirlenmelere ve ölümlere yol açabilmektedir. Bu nedenle meteorolojiden toplumsal farkındalık oluşturmak için bu gaza karşı insanların dikkatli ve tedbirli olunmasını sağlamak amacıyla gerekli durumlarda kitle iletişim araçlarıyla uyarılar yapılmaktadır.

Kokuları algılanabilen farklı gazlardan yayılan kokular aynı anda mı algılanır? Bu soruya 2. etkinliği yaparak cevap bulmaya çalışalım.

## 2. ETKİNLİK GAZLARIN DİFÜZYONU



**Etkinliğin Amacı:**

Gazların difüzyonu özelliğini kavrayabilme.

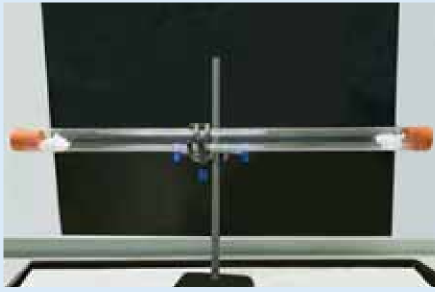
**Araç Gereçler:**

$NH_3$ çözeltisi, HCl çözeltisi, bunzen mesnedi, bunzen kıskacı, ikili bağlama parçası, lastik tıpa (2 adet), damlalık (2 adet), iki ucu açık cam boru (50 cm), pens, pamuk, cetvel, kalem

**Etkinliğin Yapılışı:**

*UYARI: Etkinliği yaparken sorumluluk sahibi bireyler olarak güvenlik uyarılarına dikkat edilmesi gerektiğini unutmayınız. Çünkü sorumluluk duygusuyla, önemseyerek ve dikkat ederek yapacağınız etkinlik, laboratuvarda doğabilecek olumsuzlukları önemli ölçüde ortadan kaldırır.*

- İki ucu açık cam boruyu yatay şekilde bunzen kıskacı yardımıyla uçlarından bunzen mesnedine tutturunuz.
- Cam borunun açık uçlarından içeri girecek büyüklükte iki pamuk alınız.
- Damlalıklar ile pamuklardan birine $NH_3$, diğerine HCl çözeltisinden onar damla damlatınız.
- Pens ile pamukları tutarak aynı anda cam borunun açık uçlarından içeri bırakınız ve lastik tıpalarla cam borunun açık uçlarını kapatınız.
- Cam boruyu bir süre gözlemleyerek beyaz duman halkasının oluştuğu ilk yeri kalemle işaretleyiniz.
- $NH_3$ ve HCl çözeltileri bulunan pamukların orta noktası ile beyaz duman halkasının oluştuğu orta nokta arasındaki uzaklığı cetvel ile ölçerek kaydediniz.



*Resim 2.3.1:* Gazların difüzyonu

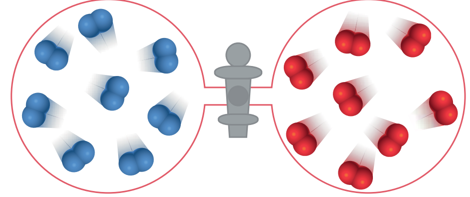
**Etkinlik Sonu Soruları:**

1. Cam borudaki beyaz duman halkasının oluşumunu nasıl açıklarsınız?
2. Cam boruda oluşan beyaz duman halkası, $NH_3$ ve HCl çözeltileri damlatılmış pamuklardan hangisine daha yakındır?
3. Cetvelle ölçülen uzaklıklar ile pamuklara damlatılan $NH_3$ ve HCl moleküllerinin hızları arasında nasıl bir ilişki vardır?

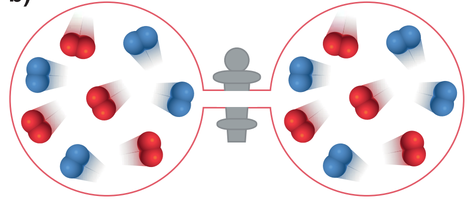
Gaz molekülleri rastgele ve her yöne bir doğru boyunca hareket ettiklerinden, bulundukları kabın içinden hızlıca yayılabilir. Örneğin hidrojen sülfür ($H_2S$) gazı çürük yumurta gibi kokar ve bu gaz bir odaya salındığında kötü koku odanın her tarafından hissedilebilir.

Şekil 2.3.2.a'da birbirlerine bir muslukla bağlanmış cam kaplarda farklı gazlar bulunmaktadır. Şekil 2.3.2.b'de olduğu gibi cam kaplar arasındaki musluk açıldığında, gaz molekülleri arasındaki boşluklar, gazların birbirleriyle karışmalarını sağlar. Gaz moleküllerinin başka gaz molekülleri arasına yavaş yavaş yayılması olayına **difüzyon** denir. Gerçekte gaz molekülleri çok hızlı olmasına rağmen difüzyon işleminin tamamlanması uzun zaman alabilir. Bunun nedeni hem gaz moleküllerinin kendi aralarında hem de gaz moleküllerinin kabın çeperleriyle çarpışma yapmalarıdır. Gazların aynı şartlarda yayılma hızları aynı mıdır?

a)



b)



*Şekil 2.3.2:* İki veya daha fazla gazın yayılması, moleküllerin birbirleri içerisinde karışmasıyla sonuçlanır.

2. etkinlikte gaz moleküllerinin yayılma özelliğinden yararlanarak pamuğa damlatılıp iki ucu açık cam boru içine yerleştirilen $NH_3$ ve HCl çözeltilerinin belirli bir uzaklıkta beyaz bir duman halkası ($NH_4Cl$) oluşturdukları gözlemlendi. Beyaz duman halkasının $NH_3$ çözeltisinden biraz uzak, HCl çözeltisine ise biraz yakın olduğu belirlendi. Bu durum, $NH_3$ ve HCl gazlarının yayılma hızları ile ilgilidir.

Kinetik enerji (KE), bir cismin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjidir. Sabit bir "$\vartheta$" hızı ile düzgün doğrusal hareket eden "m" kütleli bir cismin ortalama kinetik enerjisi KE = 1/2 m · $\vartheta^2$ olduğundan aynı sıcaklıkta iki gazın (1 ve 2 gazlarının) ortalama kinetik enerjileri aşağıdaki gibi olur:

$$KE_{(1)} = \frac{1}{2} m_1 \cdot \vartheta_1^2 \qquad KE_{(2)} = \frac{1}{2} m_2 \cdot \vartheta_2^2$$

Aynı sıcaklıkta iki gazın ortalama kinetik enerjileri birbirine eşit olacağından eşitlik aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$KE_{(1)} = KE_{(2)} \Rightarrow \frac{1}{2} m_1 \cdot \vartheta_1^2 = \frac{1}{2} m_2 \cdot \vartheta_2^2 \Rightarrow m_1 \cdot \vartheta_1^2 = m_2 \cdot \vartheta_2^2$$

$$\frac{\vartheta_1^2}{\vartheta_2^2} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

$m_1$ ve $m_2$ kütleleri yerine 1 ve 2 gazları için gazların mol kütleleri olan $M_{A(1)}$ ve $M_{A(2)}$ yazılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \sqrt{\frac{M_{A(2)}}{M_{A(1)}}}$$

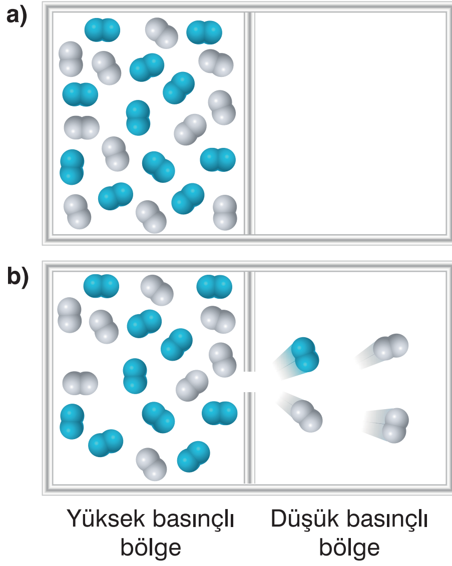
## Bilgi Notu



*Grahamm Difüzyon Yasası'na göre gazların yayılma hızı gazların mol kütlelerine bağlı olarak ifade edilebileceği gibi gazların yayılma sürelerine ve yoğunluklarına bağlı olarak da aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir:*

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} = \frac{t_2}{t_1}$$

*Eşitlikteki $d_1$ ve $d_2$ sırasıyla 1 ve 2 gazlarının yoğunluklarını, $t_1$ ve $t_2$ ise sırasıyla 1 ve 2 gazlarının yayılma sürelerini göstermektedir.*




*Şekil 2.3.3:* Hızlı hareket eden gaz molekülleri küçük bir delik bulunan bölmeden kaçar.




Graham Difüzyon Yasası'nın açıklanmasında bilişim teknolojilerinden (animasyon, simülasyon, video vb.) yararlanılmalıdır. İlgili görsellere Eğitim Bilişim Ağı **(eba.gov.tr)** adresinden ulaşılabilir.

Bu eşitliğe, 19. yüzyıl kimyacılarından Thomas Graham'in (Tamıs Grehem) birçok deneysel çalışmaları sonucunda ulaşılmıştır. Graham, mol kütlesi küçük olan gaz moleküllerinin, mol kütlesi büyük olan gaz moleküllerine göre daha hızlı hareket ettiğini gözlemlemiştir. **Graham Difüzyon Yasası'**na göre "*Bir gazın yayılma (difüzyon) hızı, gazın mol kütlesinin karekökü ile ters orantılıdır*." Dolayısıyla bir gazın difüzyon hızı hem gazın cinsine hem de sıcaklığına bağlıdır.

Şekil 2.3.3.a'da gazın bulunduğu yüksek basınçlı bölge ve boşluk (vakum) bulunan düşük basınçlı bölge bir bölme ile birbirinden ayrılmıştır. Şekil 2.3.3.b'deki gibi bölmeye küçük bir delik açıldığında gaz molekülleri yüksek basınçlı bölgeden düşük basınçlı bölgeye kaçar. Gaz moleküllerinin yüksek basınçlı bölgeden düşük basınçlı bölgeye küçük bir delikten kaçması olayına **efüzyon** denir.

Efüzyon olayı, patlamış bir otomobil lastiğinde havanın bir delikten dışarı kaçmasına benzetilebilir. Lastik içindeki havanın basıncı, dış ortamdaki havanın basıncından yüksektir. Lastikte bir delik açıldığında, hava molekülleri bu deliğe nadiren çarparak daha düşük basınçlı olan dış ortama kaçar. Hava moleküllerinde mol kütlesi küçük olan $N_2$ gazı, mol kütlesi daha büyük olan $O_2$ gazından daha fazla delikten dış ortama kaçar.

Efüzyon ve difüzyon olayları farklı olduğu hâlde, bir gazın efüzyon hızı, Graham difüzyon yasasında ifade edilen eşitlikle verilir.

Şimdi, aynı sıcaklıktaki farklı iki gazın difüzyon hızlarının mol kütleleri ile arasındaki ilişkiyi aşağıdaki örnekleri çözerek kavramaya çalışalım.

### Örnek 14

**Aynı sıcaklıktaki He ve $CH_4$ gazlarının yayılma hızlarının oranını hesaplayınız** *(H: 1 g/mol, He: 4 g/mol, C: 12 g/mol).*

### Çözüm 14

He için $M_{A(1)} = 4$ g/mol  $CH_4$ için $M_{A(2)} = 16$ g/mol

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \sqrt{\frac{M_{A(2)}}{M_{A(1)}}} = \sqrt{\frac{16}{4}} = \sqrt{\frac{4}{1}} = \frac{2}{1}$$

Gazların yayılma hızları arasındaki oran 2/1'dir. He gazı 2 birim ilerlerken $CH_4$ gazı 1 birim ilerler.

## Örnek 15

**Aynı sıcaklıktaki X gazının yayılma hızı, $O_2$ gazının yayılma hızının 4 katı olduğuna göre X gazının mol kütlesini hesaplayınız** *(O: 16 g/mol).*

## Çözüm 15

$O_2$ için $M_{A(2)} = 2 \cdot 16 = 32$ g/mol  X için $M_{A(1)} = ?$ g/mol

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \sqrt{\frac{M_{A(2)}}{M_{A(1)}}} \Rightarrow \frac{4}{1} = \sqrt{\frac{32}{M_{A(1)}}} \Rightarrow \frac{16}{1} = \frac{32}{M_{A(1)}}$$

$$M_{A(1)} = \frac{32}{16} = 2 \text{ g/mol}$$

## Örnek 16

**Aynı sıcaklıktaki $CH_4$ ve $SO_2$ gazları, 120 cm uzunluğundaki cam borunun uçlarından aynı anda gönderiliyor. Gazlar $SO_2$'in bırakıldığı uçtan kaç cm uzakta karşılaşır** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol, S: 32 g/mol)?*



### Biliyor musunuz?

*Aynı hacimlerdeki helyum ile doldurulmuş lastik balonun hacmi, hava ile doldurulmuş lastik balonun hacminden daha önce küçülür. Çünkü mol kütlesi daha düşük olan helyum atomlarının lastiğin gözeneklerindeki efüzyonu, hava moleküllerininkinden daha hızlıdır.*

## Çözüm 16

$CH_4$ için $M_{A(1)} = 16$ g/mol  $SO_2$ için $M_{A(2)} = 64$ g/mol

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \sqrt{\frac{M_{A(2)}}{M_{A(1)}}} = \sqrt{\frac{64}{16}} = \frac{2}{1}$$

$CH_4$ gazı 2 birim ilerlerken $SO_2$ gazı 1 birim ilerler. Yani toplam 3 cm uzaklığın 1 cm'sini $SO_2$ gazı kat eder. Buna göre;

3 cm uzaklığın  1 cm'sini $SO_2$ gazı kat ederse

120 cm uzaklığın  x

---

$$x = \frac{120}{3} = 40 \text{ cm}$$

Gazlar $SO_2$ gazının bırakıldığı uçtan 40 cm uzakta karşılaşır.

## Alıştırma 3

**$H_2$ moleküllerinin difüzyon hızı ortalaması 400 m/s'dir. Aynı şartlarda $O_2$ moleküllerinin difüzyon hızı ortalaması kaç m/s'dir** *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol)?*

# 4. Bölüm

## GAZ KARIŞIMLARI



### Konular



### Bölümde

Boyle, Charles, Gay-Lussac ve Avogadro Yasaları saf hâldeki gazların davranışlarını açıklayan gaz yasalarıdır. Oysa kimyada ve günlük hayatta karşılaşılan gazların birçoğu karışım hâlindedir. Örneğin sanayide ve evlerde yakıt olarak kullanılan sıvılaştırılmış doğal gaz, motorlu araçlarda yakıt olarak kullanılan sıvılaştırılmış petrol gazı, hayat için gerekli olan solunan hava, sağlık için anestezide kullanılan gaz, fabrika bacalarından salınarak hava ve çevre kirliliğine neden olan gaz, bir gaz karışımıdır.

## 2.4.1 KISMİ BASINÇ

Dünyayı çepeçevre saran atmosfer gaz karışımından oluşur. Bu gaz karışımı hava olarak da adlandırılır. Havayı oluşturan gaz karışımında su buharı da bulunur. Bileşenleri arasında su buharı bulunmayan havaya **kuru hava** denir. Tablo 2.4.1'de kuru havanın bileşenleri ve hacimce yaklaşık yüzde oranları verilmiştir. İnceleyiniz.

*Tablo 2.4.1:* Kuru havanın bazı bileşenleri ve hacimce yaklaşık yüzdeleri

| Bileşenin adı | Bileşenin sembolü / formülü | Hacimce yüzde (%) |
|---|---|---|
| Azot | $N_2$ | 78 |
| Oksijen | $O_2$ | 21 |
| Diğer gazlar | Ar, $CO_2$, $CH_4$, $H_2$ gibi | 1 |

Hava gibi doğal gaz da bir gaz karışımıdır. Doğal gaz, yer altında gözenekli kayaların boşluklarına sıkışmış olarak ya da petrol yataklarının üzerinde bulunur. Doğal gaz, yer altından çıkarılarak ön işlemlerden geçirilir ve yüksek basınçta (yaklaşık 25 atm) düşük sıcaklıklara (yaklaşık –160 °C) kadar soğutulmasıyla sıvılaştırılmış doğal gaz (**L**iquefied **N**atural **G**as, LNG) elde edilir. LNG, yüksek basınç ve düşük sıcaklıkların sağlandığı boru hatlarıyla veya tankerlerle taşınır. Tablo 2.4.2'de doğal gazın bileşenleri ve hacimce yüzde oranları verilmiştir. İnceleyiniz.

*Tablo 2.4.2:* Doğal gazın bileşenleri ve hacimce yüzdeleri

| Bileşenin adı | Bileşenin sembolü / formülü | Hacimce yüzde (%) |
|---|---|---|
| Metan | $CH_4$ | 90 |
| Etan | $C_2H_6$ | 5 |
| Propan | $C_3H_8$ | 3 |
| Bütan | $C_4H_{10}$ | 1 |
| Diğer gazlar | $CO_2$, $N_2$, $H_2S$, He gibi | 1 |

Bir diğer gaz karışımı da sıvılaştırılmış petrol gazıdır (**L**iquefied **P**etroleum **G**as, LPG). LPG, ham petrolün rafinerilerde damıtılması sırasında veya doğal gazın bileşenlerine ayrılmasıyla elde edilir. LPG, yoğunluğunun düşük olması nedeniyle basınç altında sıkıştırılıp sıvılaştırılarak depolanabilmekte ve kara yoluyla taşınabilmektedir. Tablo 2.4.3'te LPG'nin bileşenleri ve hacimce yüzde oranları verilmiştir (s. 84). İnceleyiniz.

### Biliyor musunuz?



*Gazların bazılarının kendilerine has iyi veya kötü kokuları vardır. Hatta bazıları renklidir. Ancak LNG, LPG gibi gazlar kokusuz ve renksizdir. Fark edilmeleri hemen hemen imkânsızdır. Ev ve iş yerlerindeki tesisatlarda, depolarda bu gazların çevreye yayılması durumunda hissedilebilmeleri için kokulandırıcı gaz maddeler katılır. En yaygın kokulandırıcı, kükürtlü organik bileşiklerden biri olan metil merkaptan ($CH_3$– SH) gazıdır.*

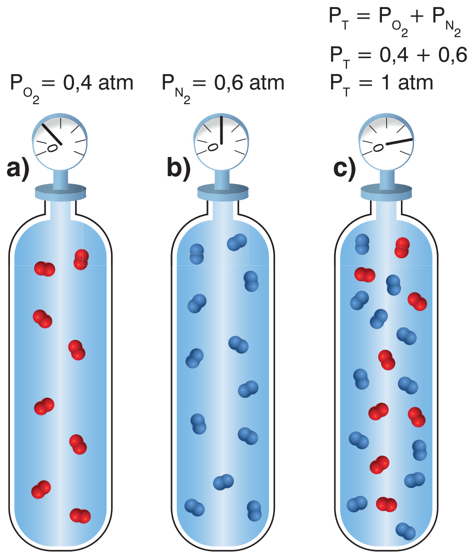
*Tablo 2.4.3:* LPG'nin bileşenleri ve hacimce yüzdeleri

| Bileşenin adı | Bileşenin formülü | Hacimce yüzde (%) |
|---|---|---|
| Propan | $C_3H_8$ | 30 |
| Bütan | $C_4H_{10}$ | 70 |

Gaz yasaları ve ideal gaz yasası, tek tür gazların davranışlarını açıklayan gaz yasalarıdır. Hava, LNG, LPG gibi birçok gaz, farklı gazların bir karışımı hâlindedir. Bu yasalar karışım hâlindeki gazlara da uygulanabilir mi?

Bütün gazlar (en azından düşük basınçlarda) basınç, hacim ve sıcaklık değişimlerine karşı benzer davranışlar gösterir. Bu nedenle bir gaz örneğinde moleküllerin aynı türden olup olmaması önemli değildir. Gazların birbirleriyle tepkimeye girmediği hava, LNG veya LPG gibi bir gaz karışımı, tek tür bir gaz gibi davranır.

Karışım hâlindeki bir gazın basıncının nasıl hesaplanacağını araştıran ilk kişi John Dalton'dır (Can Daltın). 1801 yılında Dalton'ın gaz karışımları ile yaptığı çalışmalar, gazların davranışlarına ilişkin önemli katkılar sağlamıştır.




*Şekil 2.4.1:* Dalton'ın kısmi basınçlar yasasının tanecik modeli ile gösterimi

Belirli sıcaklıkta ve hacimdeki bir kaba doldurulmuş oksijen gazının 0,4 atm'lik basınç yaptığını düşünelim. Daha sonra, kabın içindeki oksijen gazının boşaltılıp aynı sıcaklıkta ve hacimdeki kaba basıncı 0,6 atm olacak şekilde azot gazının doldurulduğunu düşünelim. Dalton, bu basınçları yapan iki gazın bu aynı miktarlarının aynı kap içinde bir arada bulunmaları durumunda, toplam basıncın ne olacağını merak etti. Bazı deneysel ölçümlerden sonra, belirli sıcaklıkta ve aynı hacimdeki her iki gazın basıncı sonucu oluşan toplam basıncın 1,0 atm olabileceği görüşüne vardı. Dalton görüşlerini, "Karışım hâlinde bir kapta bulunan her bir gaz, kabın içinde tek başına uygulayacağı basınca eşit bir kısmi basınç uygular." şeklinde özetledi. Dalton, gaz karışımlarının davranışlarını kısmi basınçlar yasası olarak ifade etti. **Kısmi Basınçlar Yasası**'na göre *"Bir kapta bulunan gazların oluşturduğu karışımın toplam basıncı, o karışımdaki gazların her birinin kısmi basınçları toplamına eşittir."* (Şekil 2.4.1)

Bir gaz karışımındaki A, B, … gazlarının kısmi basınçları sırası ile $P_A$, $P_B$, … , karışımdaki gazların toplam basıncı $P_T$ olarak gösterilirse Dalton'ın kısmi basınçlar yasası aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$P_T = P_A + P_B + \dots$$

Şimdi, toplam gaz ve her bir gaz için ideal gaz denklemini yazalım.

$$P_T V = n_T R T \Rightarrow \frac{P_T}{n_T} = \frac{R T}{V}$$

$$P_A V = n_A R T \Rightarrow \frac{P_A}{n_A} = \frac{R T}{V}$$

$$P_B V = n_B R T \Rightarrow \frac{P_B}{n_B} = \frac{R T}{V}$$

Belirli bir kapta A ve B gazları karışımının sıcaklıkları aynı olacağından, diğer bir ifadeyle "R T / V" oranları aynı olacağından aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\frac{P_T}{n_T} = \frac{P_A}{n_A} = \frac{P_B}{n_B}$$

Karışımdaki her bir gaz için eşitlikler ayrı ayrı düzenlenirse;

$$\frac{P_T}{P_A} = \frac{n_T}{n_A} \quad \text{ve} \quad \frac{P_T}{P_B} = \frac{n_T}{n_B}$$

eşitlikleri elde edilir. Yukarıdaki eşitliklere göre hem karışım hâlindeki bir gazın toplam basıncının gazların toplam mol sayısı ile doğru orantılı olduğu hem de her bir gazın kısmi basıncının o gazın mol sayısı ile doğru orantılı olduğu görülür.

## Örnek 17

**Bir otomobilin LPG deposundaki gaz karışımı 0,6 mol $C_3H_8$ ve 1,4 mol $C_4H_{10}$ gazlarını içermektedir. Depodaki gazların toplam basıncı 0,9 atm olduğuna göre her bir gazın kısmi basıncını hesaplayınız.**

## Çözüm 17

$n_{C_3H_8} = 0,6$ mol

$n_{C_4H_{10}} = 1,4$ mol

$P_T = 0,9$ atm

$P_{C_3H_8} = ?$

$P_{C_4H_{10}} = ?$

$$n_T = n_{C_3H_8} + n_{C_4H_{10}} = 0,6 + 1,4 = 2 \text{ mol}$$

$$\frac{P_T}{P_{C_3H_8}} = \frac{n_T}{n_{C_3H_8}} \Rightarrow \frac{0,9}{P_{C_3H_8}} = \frac{2}{0,6}$$

$$P_{C_3H_8} = 0,27 \text{ atm}$$

$$\frac{P_T}{P_{C_4H_{10}}} = \frac{n_T}{n_{C_4H_{10}}} \Rightarrow \frac{0,9}{P_{C_4H_{10}}} = \frac{2}{1,4}$$

$$P_{C_4H_{10}} = 0,63 \text{ atm}$$

## Örnek 18

**Kuru bir hava örneği yaklaşık 0,76 g $N_2$ ve 0,24 g $O_2$ gazlarından oluşmaktadır. Toplam basınç 0,87 atm olduğuna göre her bir gazın kısmi basıncını hesaplayınız** *(N: 14 g/mol, O: 16 g/mol).*

## Çözüm 18

$m_{N_2} = 0,76\ g$

$m_{O_2} = 0,24\ g$

$P_T = 0,87\ atm$

$P_{N_2} = ?$

$P_{O_2} = ?$

$N_2$ için $M_A = 28\ g/mol$ $\quad$ $O_2$ için $M_A = 32\ g/mol$

$$n_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{M_A} = \frac{0,76}{28} = 0,027\ mol$$

$$n_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{M_A} = \frac{0,24}{32} = 0,0075\ mol$$

$$n_T = n_{N_2} + n_{O_2} = 0,027 + 0,0075 = 0,0345\ mol$$

$$\frac{P_T}{P_{N_2}} = \frac{n_T}{n_{N_2}} \Rightarrow \frac{0,87}{P_{N_2}} = \frac{0,0345}{0,027} \Rightarrow P_{N_2} = 0,68\ atm$$

$$\frac{P_T}{P_{O_2}} = \frac{n_T}{n_{O_2}} \Rightarrow \frac{0,87}{P_{O_2}} = \frac{0,0345}{0,0075} \Rightarrow P_{O_2} = 0,19\ atm$$

## Örnek 19

**90 °C'ta 1,5 L'lik kapta 5,50 g $H_2$, 7,28 g $N_2$ ve 2,55 g $NH_3$ gazı bulunmaktadır. Buna göre her bir gazın kısmi basıncını ve kaptaki gazların toplam basıncını hesaplayınız** *(H: 1 g/mol, N: 14 g /mol).*

## Çözüm 19

$t = 90\ °C$

$V = 1,5\ L$

$m_{H_2} = 5,50\ g$

$m_{N_2} = 7,28\ g$

$m_{NH_3} = 2,55\ g$

$P_{H_2} = ?$

$P_{N_2} = ?$

$P_{NH_3} = ?$

$P_T = ?$

$$T(K) = t(°C) + 273$$

$$T(K) = 90 + 273 = 363\ K$$

$$n_{H_2} = \frac{m_{H_2}}{M_A} = \frac{5,50}{2} = 2,75\ mol$$

$$n_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{M_A} = \frac{7,28}{28} = 0,26\ mol$$

$$n_{NH_3} = \frac{m_{NH_3}}{M_A} = \frac{2,55}{17} = 0,15\ mol$$

$$PV = nRT \Rightarrow P = \frac{nRT}{V}$$

eşitliğinden her bir gazın kısmi basıncını hesaplayalım.

$$P_{H_2} = \frac{(2,75\ mol) \cdot (0,082\ L \cdot atm/mol \cdot K) \cdot (363\ K)}{1,5\ L} = 54,57\ atm$$

$$P_{N_2} = \frac{(0,26\ mol) \cdot (0,082\ L \cdot atm/mol \cdot K) \cdot (363\ K)}{1,5\ L} = 7,74\ atm$$

$$P_{NH_3} = \frac{(0,15\ mol) \cdot (0,082\ L \cdot atm/mol \cdot K) \cdot (363\ K)}{1,5\ L} = 2,98\ atm$$

Toplam basınç, her bir gazın kısmi basınçları toplamına eşittir.

$$P_T = P_{H_2} + P_{N_2} + P_{NH_3}$$

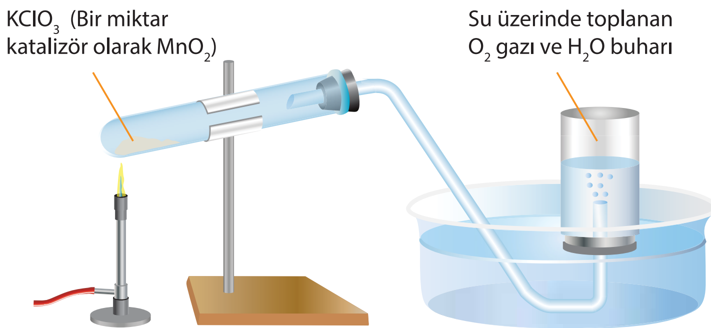
$$P_T = 54,57 + 7,74 + 2,98$$

$$P_T = 65,29\ atm$$

## Alıştırma 4

**Doğal gaz bulunduğu kaba 2,8 atm'lik basınç uygulamaktadır. Bu doğal gaz 3,6 mol $CH_4$, 0,2 mol $C_2H_6$, 0,12 mol $C_3H_8$, 0,04 mol $C_4H_{10}$ ve 0,04 mol diğer gazlardan (X) oluştuğuna göre her bir gazın kısmi basıncını hesaplayınız.**

Laboratuvarlarda gazlarla yapılan birçok deneyde, kimyasal bir tepkime sonucunda oluşan gazlar genellikle su üstünde toplanır. Bu şekilde toplanan gazlar saf değildir. Bunun nedeni bazı su moleküllerinin buharlaşarak gaz molekülleri ile karışmasıdır. Dolayısıyla suyun üstünde toplanan gazların ölçülen basıncına suyun buhar basıncı da etki eder. Örneğin $KClO_3$ ısıtıldığı zaman KCl katısına ve $O_2$ gazına ayrışır. Oluşan $O_2$ gazının miktarını belirlemek için $O_2$ gazı, içi tamamen su dolu ve ters çevrilmiş cam kap içine gönderilir. Cam kap içinde kabarcıklar hâlinde geçerek su üstünde toplanan $O_2$ gazı ile birlikte su buharı ($H_2O$), suyun üzerine basınç uygular ve suyu iterek suyun cam kap içinde alçalmasını sağlar (Şekil 2.4.2).




*Şekil 2.4.2:* Su üzerinde gaz toplamak için kullanılan düzenek

### Bilgi Notu

*Şekil 2.4.2'de verilen gaz toplama düzeneği kimyanın bilim dalı olması sürecinin ilk yıllarında sıkça kullanılmıştır. Kuşkusuz bu gaz toplama yöntemi gazın su ile tepkime vermediği ve su da çözünmediği durumlarda geçerlidir.*

*$H_2$, $O_2$ ve $N_2$ gibi gazlar bu tür gazlardandır.*

Dalton'ın kısmi basınçlar yasasına göre su ile tepkimeye girmediği ve suda çözünmediği kabul edilen $O_2$ gazı, su buharı ile doygundur. Bu nedenle su üzerindeki gazın basıncı, oksijen gazının kısmi basıncı ile su buharının kısmi basıncı toplamına eşittir. İfadede belirtilen eşitlik, su üzerinde toplanan gazlar için genelleştirilerek şöyle yazılabilir:

$$P_T = P_{gaz} + P_{H_2O}$$

Her sıvı, buharı ile birlikte bulunduğu sürece, sadece sıcaklıkla değişen buhar basıncına sahiptir. Dolayısıyla kimyasal tepkimede oluşan ve su üstünde toplanan gazın miktarı hesaplanırken su buharının kısmi basıncı da bilinmelidir. Tablo 2.4.4'te sıcaklığa bağlı olarak suyun buhar basıncı verilmiştir. İnceleyiniz.

***Tablo 2.4.4:*** Suyun sıcaklığa bağlı olarak buhar basıncı değerleri

| Sıcaklık (°C) | Suyun buhar basıncı (mmHg) | Sıcaklık (°C) | Suyun buhar basıncı (mmHg) |
|---|---|---|---|
| 19 | 16,48 | 25 | 23,76 |
| 20 | 17,54 | 26 | 25,21 |
| 21 | 18,65 | 27 | 26,74 |
| 22 | 19,83 | 28 | 28,35 |
| 23 | 21,07 | 29 | 30,00 |
| 24 | 22,38 | 30 | 31,82 |

## Örnek 20

$2KClO_3(k) \xrightarrow{ISI} 2KCl(k) + 3O_2(g)$ **tepkimesi sonucunda su üzerinde 25 °C'ta 156 mL $O_2$ gazı toplanmıştır. Su üzerindeki toplam basınç 0,98 atm olduğuna göre aşağıdaki soruları cevaplayınız** *(25 °C'ta $P_{H_2O}$ = 23,76 mmHg, O: 16 g/mol ).*

**a) $O_2$ gazının kısmi basıncı kaç mmHg'dır?**

**b) $O_2$ gazının kütlesi kaç gramdır?**

## Çözüm 20

**a)** $O_2$ gazının basıncı mmHg biriminde istendiğinden su üzerindeki atmosfer biriminde verilen toplam basıncı mmHg birimine dönüştürmek gerekir.

| | |
|---|---|
| 1 atm | 760 mmHg ise |
| 0,98 atm | x |

$x = 0{,}98 \cdot 760 = 744{,}8$ mmHg

$P_T = P_{gaz} + P_{H_2O}$

$P_{gaz} = 744,8 - 23,76$

$P_{gaz} = 721,04 \text{ mmHg}$

**b)** $V_{O_2} = 156 \text{ mL} = 0,156 \text{ L}$

$O_2$ gazı için $M_A = 2 \cdot 16 = 32 \text{ g/mol}$

1 atm — 760 mmHg ise

x — 721,04 mmHg

$$x = \frac{721,04}{760} = 0,95 \text{ atm}$$

$T(K) = t(°C) + 273$

$T(K) = 25 + 273 = 298 \text{ K}$

$$P V = n R T \Rightarrow P V = \frac{m}{M_A} \cdot R T \Rightarrow m = \frac{P V M_A}{R T}$$

$$m = \frac{(0,95 \text{ atm}) \cdot (0,156 \text{ L}) \cdot (32 \text{ g/mol})}{(0,082 \text{ L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}) \cdot (298 \text{ K})} = 0,194 \text{ g}$$

## Örnek 21



$Zn(k) + 2HCl(suda) \xrightarrow{ISI} ZnCl_2(suda) + H_2(g)$

**tepkimesi sonucunda su üzerinde 21 °C'ta 300 mL $H_2$ gazı toplanmıştır. Su üzerindeki toplam basınç 748 Torr olduğuna göre aşağıdaki soruları cevaplayınız** *(21 °C'ta $P_{H_2O}$ = 18,65 mmHg, Zn: 65 g/mol).*

**a) Su üzerinde kaç mol $H_2$ gazı toplanmıştır?**

**b) Kaç gram Zn metali tepkimeye girmiştir?**

## Çözüm 21

**a)** Hacim mL biriminden L birimine, sıcaklık da °C biriminden K birimine dönüştürülmelidir.

$P_T = 748 \text{ Torr} = 748 \text{ mmHg}$

$V_{H_2} = 300 \text{ mL} = 0,3 \text{ L}$

$P_T = P_{gaz} + P_{H_2O}$

$P_{gaz} = 748 - 18,65$

$P_{gaz} = 729,35 \text{ mmHg}$

$T(K) = t(°C) + 273$

$T(K) = 21 + 273$

$T(K) = 294 \text{ K}$

| | |
|---|---|
| 1 atm | 760 mmHg ise |
| x | 729,35 mmHg |

$$x = \frac{729,35}{760} = 0,96 \text{ atm}$$

İdeal gaz denkleminde $H_2$ gazının mol sayısını hesaplayalım.

$$PV = nRT \Rightarrow n = \frac{PV}{RT} = \frac{(0,96 \text{ atm}) \cdot (0,3 \text{ L})}{(0,082 \text{ L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}) \cdot (294 \text{ K})}$$

$$n = 1,19 \cdot 10^{-2} \text{ mol } H_2$$

**b)** Tepkime denkleminden yararlanarak Zn metalinin miktarı açığa çıkardığı $H_2$ gazının miktarından hesaplanabilir. 1 mol Zn metali 1 mol $H_2$ gazı açığa çıkardığına göre $1,19 \cdot 10^{-2}$ mol $H_2$ gazının açığa çıkması demek, aynı miktar Zn metalinin harcanması demektir.

| | |
|---|---|
| 1 mol Zn | 65 g ise |
| $1,19 \cdot 10^{-2}$ mol Zn | x |

$$x = 1,19 \cdot 10^{-2} \cdot 65 = 0,7735 \text{ g Zn}$$

## Alıştırma 5

**1.** 

**$2Al(k) + 6HCl(suda) \xrightarrow{ısı} 2AlCl_3(suda) + 3H_2(g)$**

**Yukarıdaki tepkime denklemine göre su üzerinde 27 °C'ta 600 mL $H_2$ gazı toplanmıştır. Su üzerindeki toplam basınç 650 mmHg olduğuna göre aşağıdaki soruları cevaplayınız** *(27 °C'ta $P_{H_2O}$ = 26,74 mmHg).*

**a) $H_2$ gazının kısmi basıncı kaç atmosferdir?**

**b) Tepkimede kaç mol HCl harcanmıştır?**

**2.** 

**$2Ag_2O(k) \xrightarrow{ısı} 4Ag(k) + O_2(g)$**

**Yukarıdaki tepkime denklemine göre su üzerinde 23 °C'ta 81,2 mL $O_2$ gazı toplanmıştır. Su üzerindeki toplam basınç 751 mmHg olduğuna göre aşağıdaki soruları cevaplayınız** *(23 °C'ta $P_{H_2O}$ = 21,07 mmHg, O: 16 g/mol, Ag: 108 g/mol).*

**a) $O_2$ gazının kısmi basıncı kaç atmosferdir?**

**b) Tepkimeye giren $Ag_2O$ katısı kaç gramdır?**

# 5. Bölüm

## GERÇEK GAZLAR



### Konular

2.5.1 Gazların Sıkışma ve Genleşme Özelliği

2.5.2 İdeal Gaz Davranışından Sapmalar

2.5.3 Faz Diyagramları

2.5.4 Buharlaşma ve Yoğuşma

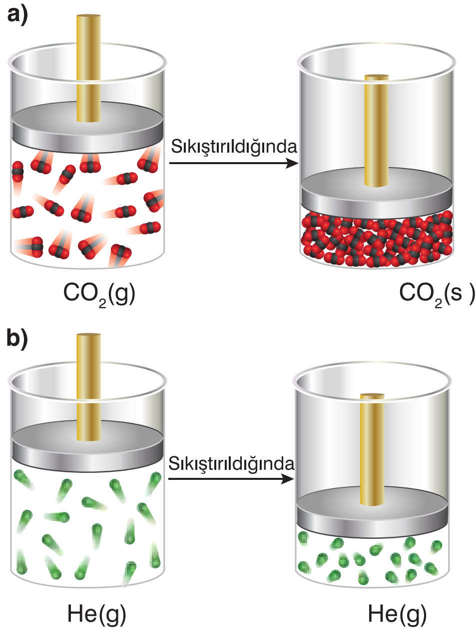
2.5.5 Joule-Thomson Olayı

### Bölümde

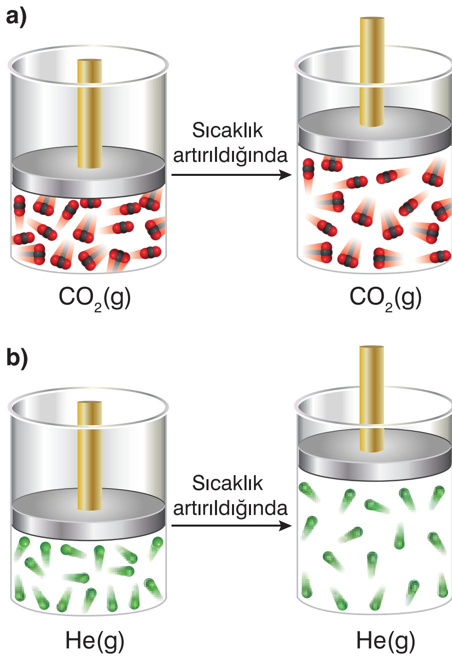
Sanayide ve araştırma laboratuvarlarında kullanılması gereken birçok gaz vardır. Örneğin metallerin kaynak yapılmasında ve kesilmesinde asetilen ve oksijen, lambaların imalatında ve metallerin saflaştırılmasında argon, yangın söndürme tüplerinde ve deodorantların imalatında karbon dioksit, yakıt nakillerinde ve gıdalarda soğutma ve dondurma amaçlı azot, balonların şişirilmesinde ve dalgıç tüplerinde helyum bu gazlardan sadece bazılarıdır. Bu gazlar, ideal gaz yasasının çok fazla geçerli olmadığı yüksek basınçlarda kullanılmak zorundadır.

Gerçek gazlar olarak adlandırılan mevcut bütün gazlar, ideal gaz yasası ile öngörülenden daha farklı özelliklere sahiptir. Bu farklılıklar yüksek basınç ve düşük sıcaklık şartlarında önem kazanır.

## 2.5.1 GAZLARIN SIKIŞMA VE GENLEŞME ÖZELLİĞİ




*Şekil 2.5.1:* Hareketli pistonla kapatılmış kaplarda sıkıştırılan $CO_2$ molekülleri birbirlerine daha yakınken He atomları sıkıştırılmış olmalarına rağmen yine de birbirlerinden uzaktırlar.




*Şekil 2.5.2:* Hareketli pistonla kapatılmış kaplarda ısıtılan gazlardan He gazı, $CO_2$ gazına göre daha fazla genleşerek daha fazla hacim kaplar.

Yangın tüplerinde kullanılan maddelerden biri $CO_2$ gazıdır. $CO_2$ gazı, tüplere oda sıcaklığında yaklaşık 50 atm basınç uygulanarak doldurulur ve tüplerde sıvı hâlde bulunur. Derin dalış tüplerinde ise He ve $O_2$ gazlarının karışımı kullanılır. Bu gazlardan He, yaklaşık 200 atm basınç uygulanarak tüplere doldurulur ve tüplerde gaz hâlde bulunur.

Tüplere doldurulan gazlardan $CO_2$ gazının sıvı hâle gelmesinin, He gazının ise yine gaz hâlde kalmasının nedeni nedir?

Şekil 2.5.1.a'da $CO_2$ gazı, Şekil 2.5.1.b'de ise He gazı, hareketli pistonlarla kapatılmış silindirler içinde bulunmaktadır. $CO_2$ ve He gazları silindirin içine yayılmış ve tamamını doldurmuş durumdadır. Hareketli pistonlar, basınç uygulanarak aşağı doğru itilip her iki gaz sıkıştırıldığında $CO_2$ gazının molekülleri arasındaki boşluk azalır ve molekülleri birbirlerine yaklaşır. Bu yaklaşma nedeni ile moleküller arasındaki çekim kuvvetleri, moleküllerin hareketini etkileyecek kadar önem kazanır. Moleküller arasındaki çekim kuvvetlerinin etkisi ile $CO_2$ gazı sıvılaşır. He gazında da sıkıştırma nedeni ile atomlar birbirlerine yaklaşır, atomlar arasındaki çekim kuvvetleri artar. Ancak He atomları arasındaki çekim kuvvetleri, $CO_2$ molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri kadar etkin olmadığından atomların hareketini önemli ölçüde etkilemez. Dolayısıyla He gazı sıvılaşmaz.

Şekil 2.5.2.a'da $CO_2$ gazı, Şekil 2.5.2.b'de ise He gazı, hareketli pistonlarla kapatılmış silindirler içinde bulunmaktadırlar. Sıcaklık artırıldığında hem $CO_2$ moleküllerinin hem de He atomlarının kinetik enerjisi artar. Kinetik enerji artışı nedeni ile moleküller arasında ve atomlar arasında çekim kuvveti azalır. Dolayısıyla moleküllerin ve atomların kabın çeperlerine çarpma sayısı artacağından, piston yukarı doğru itilerek gazlar genleşir ve hacimleri artar. Ancak He gazındaki hacim artışı, $CO_2$ gazındakinden fazladır. Bunun nedeni He atomları arasındaki çekim kuvvetinin, $CO_2$ molekülleri arasındakinden daha az olmasıdır.

Moleküller arasında çekim kuvvetinin olmadığı kabul edilen gazlara **ideal gaz** denir. Moleküller arasında çekim kuvvetinin olduğu gazlara **gerçek gaz** denir.

Basınç etkisi ile sıkıştırılan ve sıcaklık etkisiyle genleşen $CO_2$ ve He gazlarının bu durumu, $CO_2$ gazının gerçek gaz olarak davrandığını, He gazının ise ideale yakın bir gaz olarak davrandığını gösterir.

Doğadaki gazlar gerçek gazlardır. Örneğin motorlu araçlarda kullanılan LPG, evlerde ve iş yerlerinde kullanılan LNG'lerin bileşenlerini oluşturan gazlar, gerçek gazdır. Buzdolabı ve klimalarda soğutucu olarak kullanılan freon gazı, sebze ve meyveleri korumak için kullanılan azot gazı da birer gerçek gazdır.

Basınç ve sıcaklık gibi şartlara bağlı olarak gerçek gazlar;

- Düşük basınçta ve yüksek sıcaklıkta idealliğe yaklaşır.
- Yüksek basınç ve düşük sıcaklıkta ideallikten uzaklaşır.

## 2.5.2 İDEAL GAZ DAVRANIŞINDAN SAPMALAR

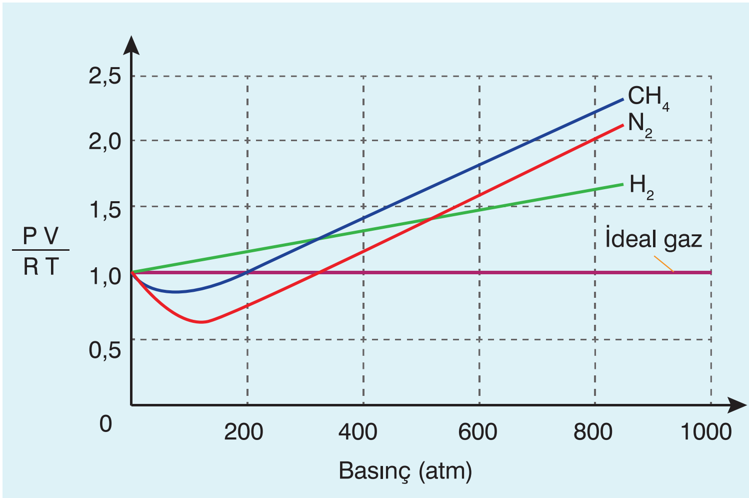
Farklı basınç ve sıcaklıktaki ideal gazlar için "P V = n R T" eşitliği geçerli iken gerçek gazlar için bu eşitlik tam olarak geçerli değildir. Gerçek gazların ideal gaz gibi davrandığı bazı şartlar varsayılsa da tüm şartlar altında böyle davranmazlar. Gerçek gazlar basınca, sıcaklığa ve gazın türüne bağlı olarak ideal gaz davranışından saparlar. Gerçek gazların ideal gaz davranışından ne kadar saptığının ölçüsü sıkıştırma faktörü ile belirlenir. Bir gazın sıkıştırma faktörü P V / R T oranıdır. Gerçek bir gaz için deneysel olarak belirlenen P V / R T oranının 1'e yakınlığı, gerçek bir gazın ideal bir gaza ne kadar yakın olduğunun bir ölçüsüdür.

Hatırlatma 

*İdeal gaz denklemine göre 1 mol ideal gaz için;*

$$\frac{P\,V}{R\,T} = 1\text{'dir.}$$

Grafik 2.5.1'de belirli bir sıcaklıkta ideal gaz ve üç gerçek gaz için basınca (P) bağlı olarak sıkıştırma faktörü (P V / R T) verilmiştir. İnceleyiniz.

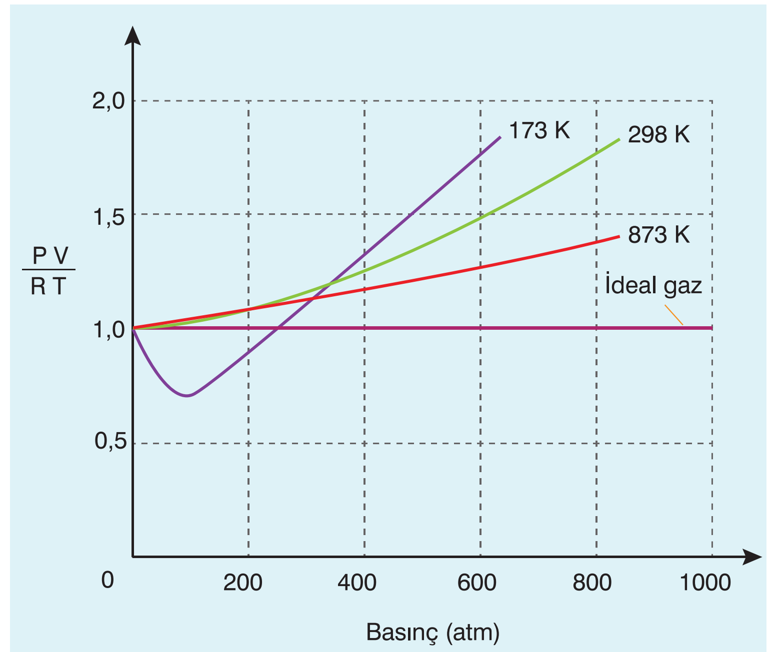



***Grafik 2.5.1:*** İdeal ve ideal olmayan gazların (gerçek gazların) basınca bağlı olarak davranışları

Grafik 2.5.1'de de anlaşılacağı gibi tüm basınçlarda ideal gaz için sıkıştırma faktörü P V / R T oranı daima 1'e eşittir. Gerçek gazlar ($H_2$, $N_2$, $CH_4$ gibi) için bu oran, basıncın sıfıra çok yaklaştığı durumlarda ancak geçerli olabilmektedir.

Normal şartlarda çoğu gerçek gaz molekülleri arasındaki mesafelerin uzak olması nedeniyle moleküller arası çekim kuvvetleri ihmal edilebilir. Hatırlanacağı gibi kinetik teorinin varsayımlarına ihmal edilebilir farklarla uyan gazlar "ideale yakın gaz" olarak nitelendirilmişti. Oysa gerçek gazlarda basınç artışına bağlı olarak ideallikten önemli sapmalar meydana gelir. Bu sapmalar, gaz molekülleri arasındaki çekme veya itme kuvvetleri ile açıklanabilir. Gerçek gazlarda basınç artışı ile birlikte moleküller arası mesafe kısalır. Böylece moleküller arası çekme kuvvetleri, itme kuvvetlerinden daha etkin hâle gelir. Moleküller arası çekme kuvvetleri, moleküllerin birbirlerine daha yakın olmasına neden olacağından bu durum, gerçek gazların yoğunluğunu artırır ve gerçek gazlar ideallikten sapar.

Gerçek gazların ideallikten sapmalarının nedenlerinden biri de sıcaklıktır. Grafik 2.5.2'de farklı sıcaklıklarda $N_2$ gazının basınca (P) bağlı olarak sıkıştırma faktörü (P V / R T) verilmiştir. İnceleyiniz.



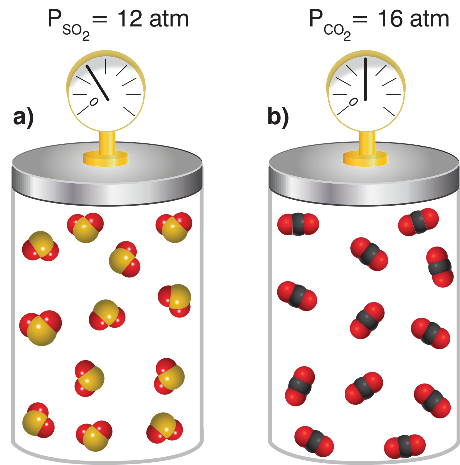

***Grafik 2.5.2:*** İdeal ve ideal olmayan gazın ($N_2$ gazının) sıcaklığa bağlı olarak davranışları

Grafik 2.5.2'de de anlaşılacağı gibi belirli bir basınçta (Örneğin 600 atm basınçta) $N_2$ gazının sıcaklığı azaldığında, $N_2$ gazı ideallikten sapmaktadır. Gerçek gazlar soğutulduğunda moleküllerin ortalama kinetik enerjisi azalır. Buna bağlı olarak moleküllerin hareketi de azalır. Bu durum, moleküller arası çekim kuvvetini artırır ve gerçek gazlar ideallikten sapar.

Gerçek gazların ideallikten sapmalarının bir başka nedeni de gazın türüdür. Şekil 2.5.3'te hacimleri, mol sayıları ve sıcaklıkları aynı olan $SO_2$ ve $CO_2$ gazları farklı basınçlarda bulunmaktadır. Bu gazlardan $SO_2$ gazının basıncının $CO_2$ gazının basıncından daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni gaz molekülleri arasındaki etkileşim türünün farklı olmasıdır.

Moleküller arası etkileşim, molekül geometrileri ile yakından ilişkilidir. $SO_2$ molekülü açısal ve polar bir moleküldür. Moleküller arasında dipol-dipol etkileşimleri vardır. $CO_2$ molekülü ise doğrusal ve apolar bir moleküldür. Moleküller arasında London kuvvetleri vardır. Dipol-dipol etkileşimleri London kuvvetlerinden daha etkindir. Aynı sıcaklıkta $SO_2$ moleküllerinin hareketi, etkileşimin büyüklüğünden dolayı $CO_2$ moleküllerine göre daha yavaştır. Dolayısıyla $SO_2$ molekülleri birbirleriyle ve kabın çeperleriyle daha az ve daha yavaş çarpışır. Bu durumda, $SO_2$ gazının basıncı, $CO_2$ gazının basıncından küçük olur. Hem $SO_2$ gazı hem de $CO_2$ gazı ideal davranıştan saparken moleküller arasındaki etkileşimin farklılığı nedeniyle $SO_2$ gazı $CO_2$ gazına göre ideal davranıştan daha çok sapar.

Gerçek gazların ideallikten sapmalarında gaz türünün etkisine örnek olarak $H_2$ ve $N_2$ gazları verilebilir. Hidrojenin ve azotun atom numarası sırasıyla 1 ve 7'dir. Dolayısıyla apolar $H_2$ molekülünde 2, $N_2$ molekülünde 14 elektron bulunur. $N_2$ molekülünün elektron sayısı $H_2$ molekülünün elektron sayısından fazla olduğundan $N_2$ molekülleri arasındaki London kuvvetleri, $H_2$ molekülleri arasındaki London kuvvetlerinden daha etkindir. Dolayısıyla $N_2$ gazı, $H_2$ gazına göre ideal davranıştan daha çok sapar.




**Şekil 2.5.3:** **a)** $SO_2$ gazı **b)** $CO_2$ gazı

## Hatırlatma



*Dipol-dipol etkileşimleri ve London kuvvetleri van der Waals etkileşimlerindendir. Dipol-dipol etkileşimi, kalıcı dipol oluşturan moleküllerde (HCl, $H_2O$, $NH_3$, $SO_2$ gibi) meydana gelir. London kuvvetleri ise asal gaz atomlarda (He, Ne, Ar gibi) veya apolar moleküllerde ($H_2$, $N_2$, $O_2$, $CH_4$ gibi) meydana gelir.*

## 2.5.3 FAZ DİYAGRAMLARI

Basınç, sıcaklık, yoğunluk ve derişim gibi özelliklerin her noktasında aynı olduğu sistem bölgelerine **faz** denir. Saf olarak elde edilebilen ve belirli bir kimyasal formülü olan maddelere ise **bileşen** denir.

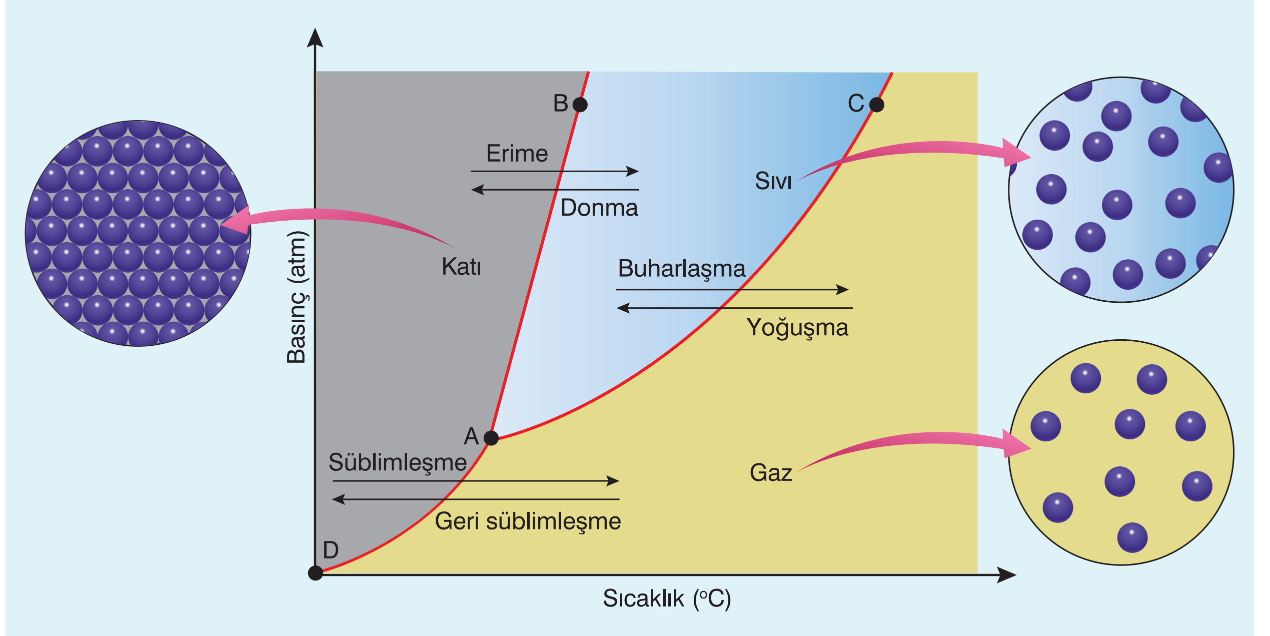
Bir bileşen birkaç fazlı olabileceği gibi bir faz içinde birkaç bileşen de olabilir. Örneğin birbiri ile dengede olan su ile buz aynı kimyasal formüle sahip olduğundan bir bileşenlidir. Fakat farklı yoğunluklara sahip olduğundan iki fazlıdır. Tuzlu su çözeltisi ise tek fazlıdır. Fakat çözeltideki tuz ve su farklı kimyasal formüle sahip olduğundan iki bileşenlidir. Bir maddenin fiziksel hâline basıncın ve sıcaklığın etkilerini gösteren grafiklere **faz diyagramları** adı verilir. Bir faz diyagramı, maddenin hangi şartlarda katı, sıvı veya gaz fazında olacağını gösterir.

## Bilgi Notu



*Bir maddenin fiziksel durumu için "hâl" ile "faz" kavramı bazen eş anlamlı kullanılır. Maddenin katı, sıvı ve gaz hâllerinin her biri faz olarak ifade edilir.*

Her maddenin deneysel olarak basınç-sıcaklık eğrilerinden elde edilen özel bir faz diyagramı vardır. Bu konuda kapalı bir sistemde bir bileşenli maddelerin farklı fazları arasındaki basınç-sıcaklık ilişkisi incelenecektir. Şimdi, Grafik 2.5.3'te bir bileşenli herhangi bir maddenin faz diyagramını ele alalım.




*Grafik 2.5.3:* Bir bileşenli bir maddenin basınç-sıcaklık faz diyagramı ve fazların tanecik modeli ile gösterimi

Faz diyagramını üç temel özellik oluşturur. Bunlar; bölgeler, çizgiler ve noktalardır. Faz diyagramında katı, sıvı ve gaz hâlini gösteren bölgeler **faz bölgeleri** olarak adlandırılır. Faz bölgelerinin her biri sistemin basıncına ve sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Faz diyagramında faz bölgelerini birbirinden ayıran çizgiler **faz sınırı** (denge çizgileri) olarak adlandırılır. İki bölge arasındaki faz sınırının her noktasında iki komşu faz dinamik dengededir.

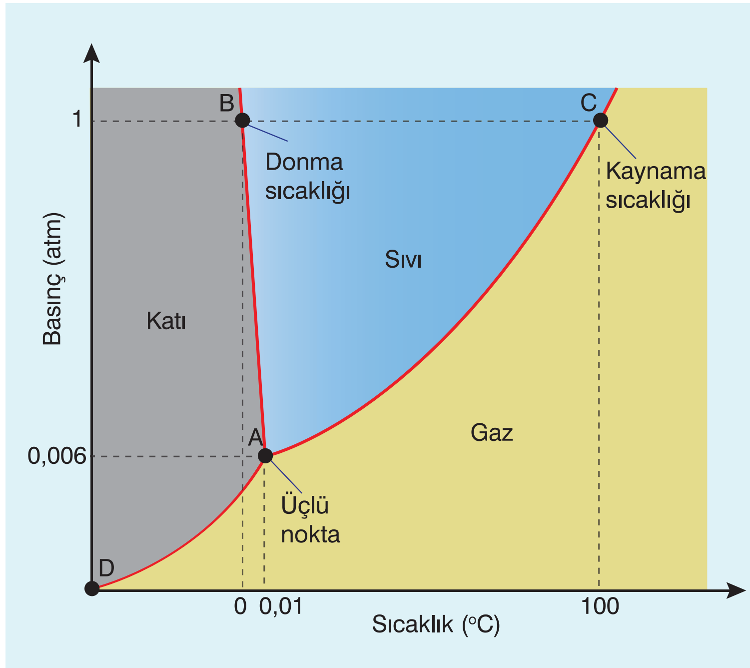
Faz sınırlarından A - B çizgisi katı ve sıvı fazlar arasındaki dengeyi (erime-donma dengesi), A - C çizgisi sıvı ve gaz fazlar arasındaki dengeyi (buharlaşma-yoğuşma dengesi), A - D çizgisi katı ve gaz fazlar arasındaki dengeyi (süblimleşme-geri süblimleşme dengesi) gösterir. Bu üç çizgi A noktasında kesişir. A noktası üç fazın; katı, sıvı ve gazın birlikte dengede bulunduğu noktadır. Faz diyagramında katı, sıvı ve gaz fazların birlikte dinamik dengede olduğu noktaya **üçlü nokta** denir. Üçlü nokta, tek bir basınç ve sıcaklık değerini gösterir. Şimdi de kapalı bir sistemde bir bileşenli suyun ve karbon dioksidin faz diyagramını inceleyelim.

### Bilgi Notu

***Dinamik denge,*** *ileri yöndeki bir süreç ile bunun tersi yönündeki sürecin aynı anda ve eşit hızlarda gerçekleştiği durumdur. Örneğin buharlaşama-yoğuşma süreçleri gibi. Denge konusu, "Kimyasal Tepkimelerde Denge" ünitesinde (6. ünite) geniş şekilde ele alınacaktır.*

## Suyun Faz Diyagramı

Suyun faz diyagramı ölçeksiz olarak verilen Grafik 2.5.4'te görülmektedir. Grafik katı, sıvı ve gaz fazlarını göstermek üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Katı, sıvı ve gaz olarak gösterilen bölgelerin herhangi bir noktası, maddenin o fazının belirli bir basınç ve sıcaklıkta en kararlı olduğu durumuna karşılık gelir.




***Grafik 2.5.4:*** Suyun faz diyagramı

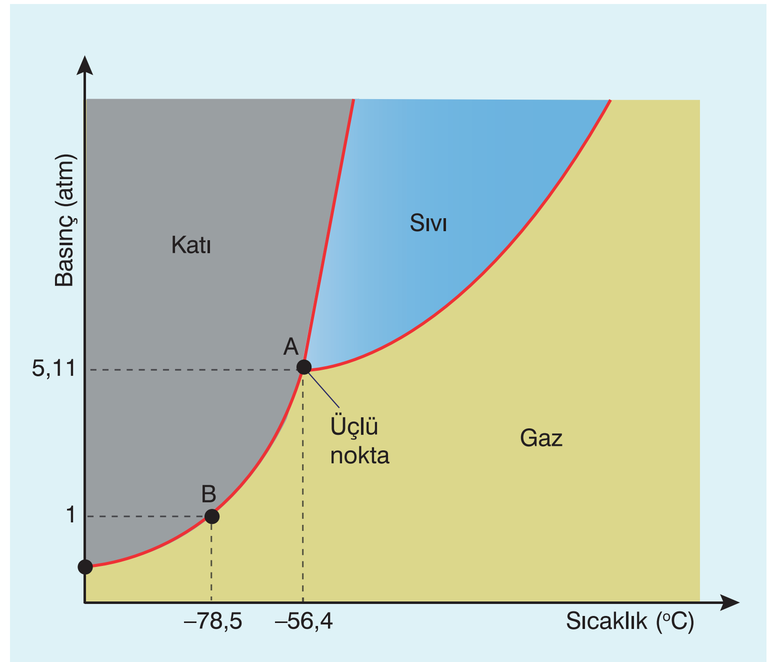
Suyun faz diyagramında A - B çizgisi katı ve sıvı fazların, A - C çizgisi sıvı ve gaz fazların, A - D çizgisi katı ve gaz fazların birlikte dengede bulunduğu basınçları ve sıcaklıkları gösterir. Suyun faz diyagramındaki üç çizginin kesiştiği üçlü noktanın basıncı 0,006 atm ve sıcaklığı 0,01 $^{o}$C'tur. Bu basınç ve sıcaklık değerlerinde suyun her üç fazı da dengede bir arada bulunur.

Suyun faz diyagramından basınca bağlı olarak erime ve kaynama sıcaklıklarının nasıl değişeceğini görmek de mümkündür. 1 atm basınçta suyun donma sıcaklığı 0 $^{o}$C, kaynama sıcaklığı 100 $^{o}$C'tur. Faz diyagramından 1 atm basıncın üzerindeki basınçlarda suyun donma sıcaklığının düşeceği, kaynama sıcaklığının ise yükseleceği görülmektedir. Tersine, 1 atm basıncın altındaki basınçlarda suyun donma sıcaklığı yükselirken kaynama sıcaklığı düşer. Bununla birlikte suyun donma sıcaklığındaki küçük düşüşler ve yükselişler bile çok büyük basınç değişmelerini gerektirir.

Faz diyagramlarında genellikle katı ve sıvı fazların denge durumlarını gösteren çizgiler yukarı ve sağa doğrudur. Ancak suyun faz diyagramında bu çizgi yukarı ve sola doğrudur. A - B çizgisinin yukarı ve sola doğru olması, suya diğer maddelerden farklı bir özellik kazandırır. Buzun yüzeyinde basınç yeteri kadar artırıldığında sıcaklık daha düşük değerlere kayacağından buz eriyerek sıvı suya geçer. Buzun erimesinin nedeni, katı ve sıvı faz dengesinde buzun sıvı sudan daha az yoğun olmasıdır. Buzda hem hidrojen bağları hem de moleküller arası boşluklar sıvı sudan daha fazladır. Bu ise buzun yoğunluğunun sıvı sudan daha az olmasına ve buzun sıvı su içinde yüzmesine neden olur.

## Karbon Dioksidin Faz Diyagramı

Karbon dioksidin faz diyagramı ölçeksiz olarak verilen Grafik 2.5.5'te görülmektedir. Grafik, suyun faz diyagramında olduğu gibi katı, sıvı ve gaz fazlarını göstermek üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Ancak karbon dioksidin ve suyun faz diyagramları arasındaki en önemli fark, karbon dioksidin faz diyagramında, katı ve sıvı fazların denge durumlarını gösteren çizginin yukarı ve sağa doğru olmasıdır.




**Grafik 2.5.5:** Karbon dioksidin faz diyagramı

Karbon dioksidin faz diyagramında ilginç bir durum söz konusudur. Faz diyagramında görüleceği gibi sıvı fazın tamamı 1 atm

basıncın üstünde yer almaktadır. Dolayısıyla karbon dioksidin 1 atm'de erimesi mümkün değildir. 1 atm basınçtaki karbon dioksit –78,5 °C'un üstündeki sıcaklıklarda ısıtılırsa sıvı faza geçmeden hemen süblimleşerek gaz faza geçer. Bu nedenle katı karbon dioksit buza benzerliğinden dolayı kuru buz olarak adlandırılır (Resim 2.5.1). Karbon dioksit için üçlü noktanın basıncı 5,11 atm, sıcaklığı –56,4 °C'tur. Karbon dioksidin sıvı fazına ancak 5,11 atm basıncın üstündeki basınçlarda ulaşılabilir.

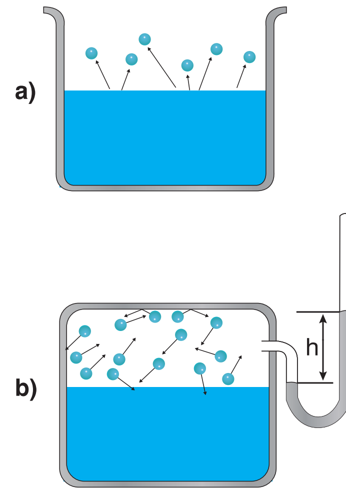


*Resim 2.5.1:* Kuru buz, düşük sıcaklık sağlaması ve eriyerek sıvı faza geçmemesi nedeniyle soğutma ve besin koruma işlemlerinde yaygın olarak kullanılır.

## 2.5.4 BUHARLAŞMA VE YOĞUŞMA

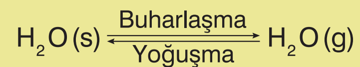
Sıvı fazdaki moleküller katı fazdaki moleküller gibi sabit konumda değildir. Sıvı molekülleri her ne kadar gaz molekülleri gibi serbest hareket ediyor olmasalar da birbirlerinin üzerinde kayarak sürekli hareket hâlindedir. Sıvılar, gazlardan daha yoğun olduklarından, sıvılardaki moleküller arası çarpışma sayısı, gazlardakine göre daha fazladır. Bir sıvıdaki moleküller yüzeyden uzaklaşmak için yeterli kinetik enerjiye sahip olduklarında bir faz değişimi olur. Bir maddenin sıvı fazdan gaz fazına geçmesine **buharlaşma** denir.

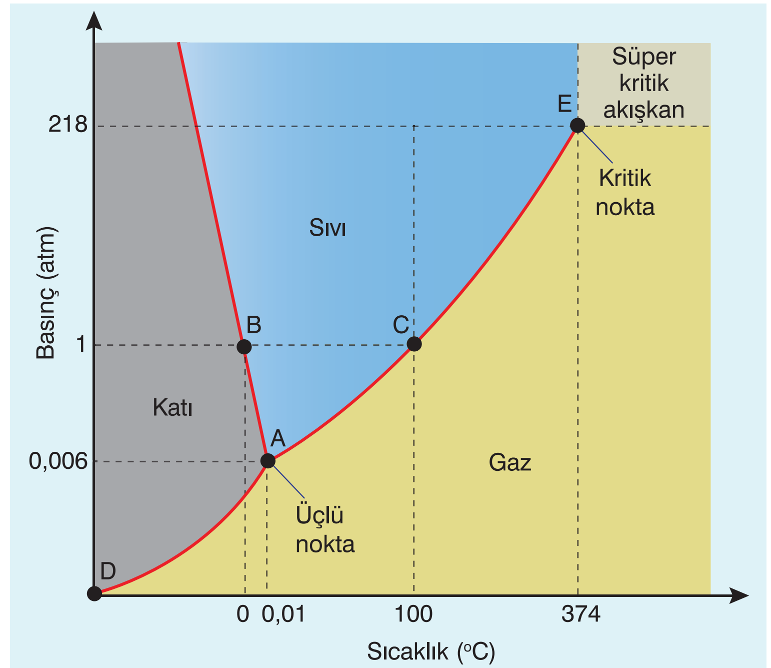
Sıvı içindeki moleküllerin enerjileri de gazlarda olduğu gibi sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık arttıkça yeterli enerjiye sahip olan moleküller sıvının yüzeyinden buharlaşarak gaz faza geçer. Açık bir kapta bulunan belirli bir sıcaklıktaki sıvının molekülleri, moleküller arası kuvvetleri yenebilecek kadar kinetik enerjiye sahip olduklarında sıvının yüzeyinden ayrılarak gaz faza geçer (Şekil 2.5.4.a). Bu olay tek yönlüdür ve kapta sıvı kalmayıncaya kadar devam eder. Eğer sıvı, kapalı bir kapta ise gaz fazına geçen moleküller birbirleriyle ve kabın çeperleri ile çarpışarak tekrar sıvıya yönelir (Şekil 2.5.4.b). Sıvı yüzeyindeki moleküllerle etkileşerek moleküller arası çekim kuvvetleri sonucu tekrar sıvı faza geçer. Bir maddenin gaz fazdan sıvı faza geçmesine **yoğuşma** denir. Bu olay ise iki yönlüdür.




*Şekil 2.5.4:* **a)** Açık kapta buharlaşan sıvının molekülleri sürekli sıvı yüzeyinden ayrılır. **b)** Kapalı kapta buharlaşan sıvının molekülleri diğer moleküllerle ve kabın çeperleri ile çarpışır. Tekrar sıvıya yönelir.

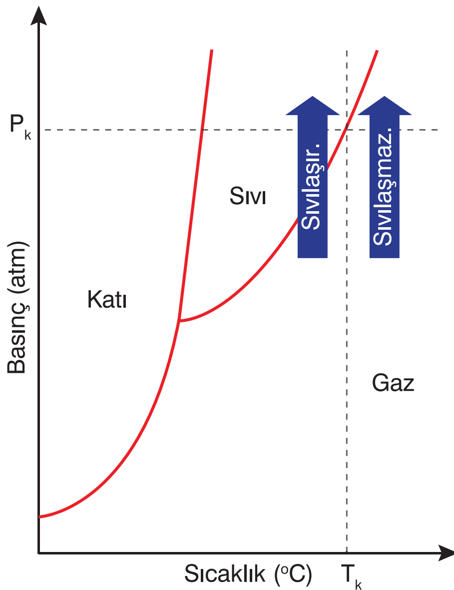
Belirli sıcaklıkta, birim zamanda, gaz faza geçen molekülerin sayısı ile sıvı faza geçen moleküllerin sayısı bir süre sonra eşitlendiğinde, buharlaşma hızı yoğuşma hızına eşit olur. Böylece dinamik bir sıvı-buhar dengesi kurulur. Yoğuşma olayı, buharlaşma olayının tersidir. Bir gaz her şartta yoğuşarak sıvı faza geçebilir mi? Bu soruya cevap verebilmek için Grafik 2.5.6'da (s. 100) suyun ayrıntılı faz diyagramını ele alalım.






*Grafik 2.5.6:* Suyun kritik nokta ile ilgili ayrıntılarını gösteren faz diyagramı

Suyun faz diyagramında üçlü noktadan hemen sonra A - C çizgisi üzerindeki bir noktada bulunulduğunu varsayalım. Bu noktada sıvı ile gaz dengededir. Sıcaklık artırıldığında sistem faz sınırı boyunca soldan sağa doğru kayar. C noktasına gelindiğinde basınç 1 atm, sıcaklık ise 100 °C'tur. C noktası aynı zamanda suyun kaynama sıcaklığıdır ve bu noktada sıvı ile gaz hâlâ dengededir. Sıcaklık 374 °C'a artırıldığında basınç 218 atm'e ulaşır. Bu nokta, faz diyagramında E noktasıdır. E noktasında gazın yoğunluğu o kadar yüksektir ki buharlaşmada geriye kalan sıvının yoğunluğuna eşittir. Bu aşamada, sıvı ve gazı birbirinden ayıran faz sınırı kaybolur ve kabın tamamını dolduran tek bir faz yani gaz fazı oluşur. Sıcaklık, 374 °C'ta veya daha yüksek bir sıcaklıkta tutulduğu sürece basınç ne kadar artırılırsa artırılsın sıvı ve gaz arasında faz sınırı oluşmaz. Bu sıcaklıkta veya üzerindeki bir sıcaklıkta gazdan sıvıya geçiş olmaz. İşte, basınç uygulayarak sıvılaştırılamayan gazın sıcaklığına **kritik sıcaklık** denir ve "$T_k$" sembolü ile gösterilir. Kritik sıcaklık, bir maddenin sıvı fazda bulunabileceği en yüksek sıcaklıktır. Bir gazı kritik sıcaklıkta sıvılaştırmak için gerekli olan basınca **kritik basınç** denir ve "$P_k$" sembolü ile gösterilir (Grafik 2.5.7). Su için kritik sıcaklık 374 °C, kritik basınç ise 218 atm'dir. Kritik sıcaklık ve kritik basıncın birleştiği nokta **kritik nokta** olarak adlandırılır. Kritik nokta, aynı zamanda faz diyagramında üçlü noktada başlayan sıvı fazın sonlandığı noktadır. Kritik noktadan sonra gaz fazın basınç-sıcaklık grafiği, moleküller arasındaki çekim kuvvetlerine bağlı olarak bir doğru veya eğri olabilir. Tablo 2.5.1'de (s. 101) bazı maddelerin kritik sıcaklık ve kritik basınç değerleri verilmiştir. İnceleyiniz.




*Grafik 2.5.7:* Ancak kritik sıcaklığın altındaki bir sıcaklıkta basınç uygulanarak gaz sıvılaşabilir.

*Tablo 2.5.1:* Bazı maddelerin kritik sıcaklıkları ve kritik basınçları

| Madde | Kritik sıcaklık (°C) | Kritik basınç (atm) | Madde | Kritik sıcaklık (°C) | Kritik basınç (atm) |
|---|---|---|---|---|---|
| He | –268 | 2,3 | $N_2$ | –147 | 34 |
| Ne | –229 | 27 | $H_2O$ | 374 | 218 |
| Ar | –123 | 48 | $NH_3$ | 132 | 111 |
| $H_2$ | –240 | 13 | $CO_2$ | 31 | 73 |
| $O_2$ | –118 | 50 | $CH_4$ | -83 | 46 |

Kritik sıcaklık ve basınçta sıvı ve gaz fazlar birbirinin aynı olduğundan ayırt edilemez. Fakat kabın tamamını doldurduğundan gaz olarak nitelendirilir. Kritik sıcaklık ve basıncın üzerindeki faz, tam anlamıyla akışkan bir gaz olmasına rağmen, neredeyse bir sıvı faz kadar da yoğundur. Bu nedenle günümüzde, kritik sıcaklık ve kritik basıncın üzerindeki bir sıcaklıkta ve basınçta var olan yoğun, akışkan madde **süperkritik akışkan** olarak adlandırılır.

Bilgi Notu



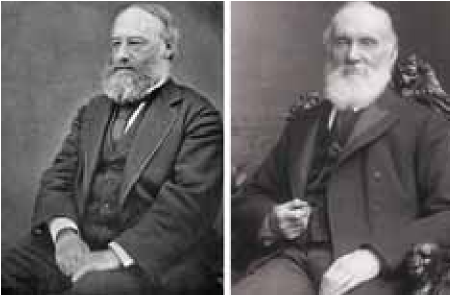
*Süperkritik akışkanlar, bir sıvı kadar yoğun olduklarından çözücü gibi davranabilir.*

Maddelerin fiziksel özelliklerinin belirtildiği kavramlardan biri de buhardır. Buhar, bir katının süblimleşmesiyle ya da bir sıvının buharlaşması veya kaynamasıyla oluşan gaz fazıdır. Buhar, katı veya sıvı ile temas olduğunda kullanılan bir kavramdır. Buhar, gaz olarak nitelendirilmekle birlikte, buhar ve gaz kavramları arasında fark vardır. **Buhar**, kritik sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda basınçla sıvılaştırılabilen akışkan maddelerdir. **Gaz** ise kritik sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda basınçla sıvılaştırılamayan akışkan maddelerdir. Bir gazın sıcaklığı ne kadar yüksekse o gazın sıvılaşması için gerekli olan basınçta o kadar yüksektir.

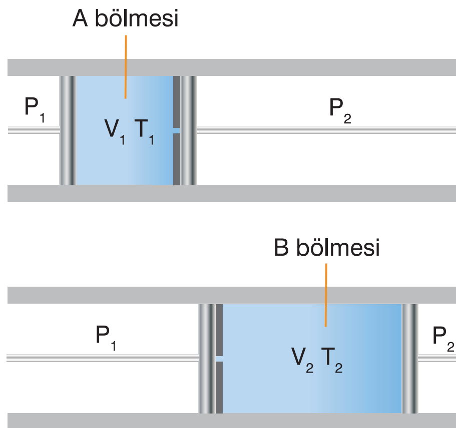
## 2.5.5 JOULE-THOMSON OLAYI

Eskiden yiyecekleri ve içecekleri günümüzdeki gibi bozulmadan saklamak kolay değildi. Buzdolabının daha yaygınlaşmadığı dönemlerde insanlar, büyük zahmetlerle dağların zirvelerinden getirdikleri karları evlerine ve yerleşim yerlerine yakın mağaraların kovuklarında depolar, erimemesi için üzerini örterlerdi. Depoladıkları kar ile havaların ısındığı mevsimlerde yiyecekleri ve içecekleri soğuturlardı. Hatta ilerleyen yıllarda bu işin ticaretini yapan kar ve buz satıcıları dahi olmuştur. Günümüzde kullanılan buzdolabı, klima gibi soğutma sistemleri, soğutma işlemini nasıl gerçekleştirmektedir?

Gerçek gazlar düşük sıcaklıklarda o kadar yavaş hareket ederler ki bu durum, serbestçe hareket etmek yerine bazen birbirlerine tutunarak hareket etmeleriyle sonuçlanır. Sıcaklığı kaynama sıcaklığının altına düştüğünde ise gaz yoğuşarak sıvılaşır.



***Resim 2.5.2:*** James Joule (solda, 1918-1989), William Thomson (sağda, 1824-1907)




***Şekil 2.5.5:*** Joule-Thomson düzeneği

Gerçek gazlar ayrıca genleşmeleri ile sıcaklıkları arasındaki ilişkiden yararlanarak da sıvılaştırılabilir. Gazların sıvılaştırılması ile ilgili gözlemler, ilk defa James Joule (Ceyms Jul) ve William Thomson (Vilyım Tamsın) (Resim 2.5.2) tarafından 1852-1862 yılları arasında sürdürülen bir seri deneysel çalışmalar sonucu gerçekleştirilmiştir.

Dış ortam ile ısı alışverişi olmayan, yalıtılmış bir silindir borunun ortasına küçük delikli bir engel yerleştirilip silindir borunun her iki tarafı yine dış ortam ile ısı alışverişi olmayan, yalıtılmış birer pistonla kapatılırsa Şekil 2.5.5'te görülen Joule-Thomson deney düzeneği ve bu düzenekte gerçekleşen olay ortaya çıkar.

Joule ve Thomson, sıkıştırarak gözenekten geçirdikleri farklı gazların daha düşük basınca geçişini incelediler. A bölmesinde hacmi $V_1$, sıcaklığı $T_1$ olan gaz, $P_1$ basıncı ile sıkıştırıldığında, basıncı $P_2$ olan B bölmesine geçer (A bölmesindeki gazın tamamını B bölmesine geçirebilmek için $P_1 > P_2$ olmalıdır). Basınçlar arasındaki fark nedeniyle B bölmesine geçen gazın hacmi $V_2$, sıcaklığı $T_2$ olur. Bu olay sonunda $T_2$ sıcaklığı ölçülerek $T_1$ sıcaklığı ile karşılaştırıldığında ya $T_1 > T_2$, ya $T_1 < T_2$ ya da $T_1 = T_2$ olduğu görülür. Bu şu anlama gelir: Sıkıştırılarak A bölmesinden B bölmesine geçen (Joule-Thomson genleşmesine uğrayan) gaz $T_1 > T_2$ iken soğumuş, $T_1 < T_2$ iken ısınmış, $T_1 = T_2$ iken ise ne soğumuş ne de ısınmıştır. Gazın sıcaklığındaki değişme Joule-Thomson olayının varlığını, değişmeme ise yokluğunu göstermektedir. Joule-Thomson olayı veren gazlar gerçek gazlar, vermeyenler ise ideal gazlardır. Joule-Thomson olayında $T_1$ ve $T_2$ sıcaklıkları arasındaki farkın büyüklüğü gazın bir gerçek gaz olarak davrandığını, farkın küçüklüğü ise gazın ideale yakın bir gaz olarak davrandığını gösterir.

Joule-Thomson olayı gazların soğutulmasında kullanılır. Sıkıştırılan gazların genleşmesi ile soğuması arasındaki ilişki şöyle açıklanabilir: Gerçek gazlarda moleküllerin ortalama hızlarının düşük olması, gazın sıcaklığının da düşük olması anlamına gelir. Dolayısıyla gaz moleküllerinin yavaşlatılması gazın soğutulması ile eş değerdir. Gerçek bir gazın molekülleri, aralarındaki çekim kuvvetleri kullanılarak ve gazın genleşmesi sağlanarak yavaşlatılabilir. Gaz genleştiğinde, diğer bir ifadeyle daha büyük bir hacim kapladığında, moleküller birbirlerinin çekim kuvvetinden kurtulur ve moleküller arası uzaklık artar. Moleküller arası çekim kuvvetlerinin yenilmesi ve moleküllerin birbirlerinden uzaklaşması için gerekli olan enerji yalıtılmış olan dış ortamdan sağlanamaz. Bu enerji moleküllerin iç enerjilerinden sağlanır. İç enerjilerini kullanarak daha düşük bir ortalama hıza sahip olan gaz molekülleri

genleşirken soğur. Dolayısıyla bulunduğu ortamın da soğumasına neden olur.

Joule-Thomson olayının gerçekleştiği günümüzde birçok uygulamalar vardır. Örneğin deodorant şişesinden çıkan gazın genleşirken soğuması nedeniyle gaz çıkışı memesinin soğuması, bisiklet tekerinin pompa ile şişirilmesinde havanın sıkışırken ısınması sonucu pompanın ısınması, bazı mekânların soğutulmasında kullanılan klimaların çalışma ilkesi bu uygulamalardan bazılarıdır.

Joule-Thomson olayının uygulama alanlarından biri de buzdolaplarında gazların sıvılaştırılmasıdır (Şekil 2.5.6). Sıvılaştırılacak gaz kompresör ile sıkıştırılır ve küçük bir delikten püskürtülerek genleşmesi sağlanır. Gaz genleştiğinde soğur ve soğuyan gaz sıkıştırılmış gazın üzerinden dolaştırılır. Bu temas, genleşmeden önceki sıkıştırılmış gazı daha fazla soğutur. Sonra tekrar küçük bir delikten püskürtülerek gazın genleşmesi sağlanır. Gaz bu şekilde sürekli sıkıştırılarak devridaim ettirildiğinde, sıcaklık gittikçe düşer ve yoğuşarak sıvılaşır. Gazın sıvılaşmasıyla açığa çıkan ısı, buzdolabının arkasındaki ısı değiştiriciden dış ortama salınırken sıvı, buzdolabı içindeki ısıyı alarak tekrar gaz fazına geçer ve buzdolabının içini soğutur. Bu gaz kompresöre gelerek sıkıştırılır ve döngü bu şekilde devam eder.

**Şekil 2.5.6:** Tek kapılı buzdolabının soğutma sistemi

Joule-Thomson olayı ile sıvılaştırılacak gaz, hava gibi bir karışım ise Linde tipi bir soğutucu ile havanın sıvılaştırılması sağlanabilir (Şekil 2.5.7). Sürekli çalışan bu sistemde kompresöre gelen hava, yaklaşık 200 atm basınçla sıkıştırılır. Sıkıştırılmış hava, ısı değiştiriciden geçerken çevreye ısı verir ve soğur. Soğumuş hava, daha önceden havanın dolaştığı döngüden geçerken Joule-Thomson olayının etkisiyle daha fazla soğur. Musluktan çıkan soğumuş hava, sistem içinde sürekli dolaşarak sıcaklığı çok fazla düştüğünden bir süre sonra yoğuşarak sıvılaşır. Oluşan sıvı daha sonra damıtılarak bileşenlerine ayrılabilir. Bu teknik, havadan azot, oksijen, argon gibi gazların elde edilmesinde kullanılır.

Joule ve Thomson hem bilim dünyasında hem de teknoloji alanındaki ünlerini, belki de hiçbir sonuç elde edemeyeceklerinin farkında olarak fakat kolaycılığa da kaçmadan etik ilkeleri gözeterek on yıl süren deneysel çalışmalarına borçludur. Çünkü bilimde etiğin tüm değerleri dürüstlük üzerinedir. Büyük bir hekim ve aynı zamanda simyacı olan İranlı İslam âlimi Ebubekir er-Razi (865- 925) **“Bir dirhem ilim, bin okka edebe muhtaçtır.”** demiştir. Bilimsel çalışmalarda bulunmayı amaç edinen insanlar öncelikle etik ilkeleri özümsemeli ve kendilerine rehber edinmelidirler.

**Şekil 2.5.7:** Gazları sıvılaştıran Linde tipi soğutucu

# 2. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

## A. *Aşağıdaki metinde numaralandırılmış boşlukları kutuda verilen kelimelerden uygun olanları ile tamamlayınız.*

**gerçek gaz**, buhar, **hacim-sıcaklık**, gaz yasaları, **basınç**, normal şartlarda, **kritik sıcaklık**, sıcaklık, **kritik basınç**, gaz

Gaz maddelerin davranışlarını ........................ (1), hacim, sıcaklık ve miktar olmak üzere dört temel özellik belirler. Gazların bu temel özellikleri ile ilgili gözlemler ........................ (2) olarak ifade edilmiştir. Gaz yasalarından Boyle Yasası gazların basınç-hacim, Charles Yasası gazların ........................ (3), Gay-Lussac Yasası gazların basınç-sıcaklık ve Avogadro Yasası gazların hacim-miktar ilişkisini açıklar. Gaz yasalarından elde edilen "P V = n R T" denklemi ideal gaz denklemidir.

Gazların birçoğu normal şartlarda ideal gaz gibi davranır. ........................ (4) 1 mol ideal gaz 22,41 L hacim kaplar. Gaz molekülleri arasında çekim kuvvetinin olmadığı varsayılan gazlar ideal gaz, gaz molekülleri arasında çekim kuvvetinin olduğu varsayılan gazlar ........................ (5) olarak tanımlanır. İdeal gaz, deneysel yollardan türetilmiş gaz yasalarına tam olarak uyan bir gazdır. Gerçek gazlar ideallikten az ya da çok sapma gösterir. Fakat normal şartlarda bu sapmalar genellikle ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Gerçek gazlarda basınç ve ........................ (6) değişimlerine bağlı olarak ideallikten önemli sapmalar meydana gelir. Gerçek gazlar, düşük basınçta ve yüksek sıcaklıkta idealliğe yaklaşırlar, tersine yüksek basınç ve düşük sıcaklıkta ideallikten saparlar. Bu sapmalar, gaz molekülleri arasındaki çekme veya itme kuvvetleri ile ilgilidir.

Bir gazın sıcaklığı ne kadar yüksekse o gazın sıvılaşması da o kadar zordur. Her gaz için farklı değerlerde öyle bir sıcaklık değeri vardır ki bu sıcaklığın üzerinde bulunan gaz, hiçbir basınç altında sıvılaştırılamaz. Basınç uygulayarak sıvılaştırılamayan gazın sıcaklığına ........................ (7), bir gazı kritik sıcaklıkta sıvılaştırmak için gerekli olan basınca da ........................ (8) denir. Sıvı fazdan sonra maddeler genellikle gaz fazı olarak nitelendirilir. Fakat madde, kritik sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta ise basınçla sıvılaştırılamadığından ........................ (9) olarak adlandırılır. Şayet madde kritik sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta ise basınçla sıvılaştırılabildiğinden ........................ (10) olarak adlandırılır.

## B. *Aşağıda verilen ifadeleri okuyunuz. İfadeler doğru ise "D", yanlış ise "Y" harfini işaretleyiniz.*

(D) (Y) **1.** Bir gazın basıncı ile hacmi doğru orantılıdır.

(D) (Y) **2.** Normal şartlar altında bir gazın basıncı 1 atm, sıcaklığı 0 °C'tur.

(D) (Y) **3.** Bir gazın basınçla sıvılaştırılabilmesi için kritik sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta olmalıdır.

(D) (Y) **4.** Gazlar düşük basınçta ve yüksek sıcaklıkta ideallikten saparlar.

(D) (Y) **5.** Gaz moleküllerinin hızı, mol kütlelerinin karekökü ile ters orantılıdır.

(D) (Y) **6.** Celcius ölçeğinde –273 °C, Kelvin ölçeğinde 0 K sıcaklığı mutlak sıfır noktasıdır.

(D) (Y) **7.** Bir faz diyagramındaki üçlü nokta katı, sıvı ve gazın birlikte dengede olduğu noktadır.

(D) (Y) **8.** Gaz moleküllerinin yüksek basınçlı bölgeden düşük basınçlı bölgeye küçük bir delikten kaçması difüzyon olayıdır.

## C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Sabit basınçta, 127 °C'ta 200 mL hacim kaplayan bir gazın hacminin 220 mL olması için sıcaklığı kaç °C olmalıdır?

2. Gerçek ve ideal gaz nedir? Gerçek bir gazın ideale yakın bir gaz olarak davranabilmesi için hangi varsayımlar geçerlidir? Açıklayınız.

3. $CaCO_3(k) \xrightarrow{ISI} CaO(k) + CO_2(g)$ tepkimesine göre 25 g $CaCO_3$ katısı ısıtıldığında oluşan gaz 5,6 L'lik kapta toplanıyor. Toplanan gazın sıcaklığı 273 °C olduğuna göre basıncı kaç atmosferdir *(C: 12 g/mol, O: 16 g/mol, Ca: 40 g/mol)?*

4. Bir gaz karışımında 0,4 mol He ve 0,6 mol $H_2$ gazı bulunmaktadır. He gazının kısmi basıncı 1,2 atm olduğuna göre $H_2$ gazının kısmi basıncı kaç atm olur?

5. Buzdolabı ve klima gibi eşyaların soğutma sistemlerinin çalışma prensibini açıklayınız.

6. Aynı sıcaklıktaki He ve $SO_2$ gazlarının yayılma hızlarının oranını hesaplayınız *(He: 4 g/mol, O: 16 g/mol, S: 32 g/mol).*

7. $2HgO(k) \xrightarrow{ISI} 2Hg(s) + O_2(g)$ tepkimesine göre HgO bileşiğinin ısıtılması sonucunda, 25 °C'ta su üzerindeki gazın hacmi 245 mL olarak ölçülmüştür. Su üzerindeki toplam basınç 783,76 mmHg olduğuna göre toplanan $O_2$ gazının kütlesi kaç gramdır *(O: 16 g/mol, 25 °C'ta $P_{H_2O}$ = 23,76 mmHg)?*

8. 1 mol He ve 4 mol $CO_2$ gazları karışımının bulundukları kaba yaptıkları toplam basınç 8 atm'dir. Buna göre He ve $CO_2$ gazlarının kısmi basınçları kaç atmosferdir?

9. Sabit basınçta, belirli bir miktar gazın hacminin, basınçla değişim grafiğini ve sabit sıcaklıkta, belirli bir miktar gazın basıncının, hacimle değişim grafiğini çiziniz.

10. 27 °C'ta 0,25 atm basınç altındaki $CO_2$ gazının yoğunluğunu hesaplayınız *(C:12 g/mol, O: 16 g/mol)*.

## Ç. 160 g $O_2$, 60 g Ne, 204 g $H_2S$ ve 160 g Ar gazı bulunduran bir tanktaki toplam basınç 2 atm'dir. Buna göre tanktaki her bir gazın mol sayısı ve kısmi basıncı ile tanktaki gazların toplam mol sayısını ve toplam basıncını hesaplayarak aşağıdaki çizelgede ilgili yere yazınız *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol, Ne: 20 g/mol, S: 32 g/mol, Ar: 40 g/mol).*

| Gaz / Nicelik | $O_2$ | Ne | $H_2S$ | Ar | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|
| Mol sayısı | | | | | |
| Kısmi basınç | | | | | |

## D. Aşağıda verilen ifadeleri kavramlarla eşleştiriniz.

| İfade | Kavram | Eşleştirme |
|---|---|---|
| **1.** Sabit basınçta ve sıcaklıkta bütün gazların eşit hacimlerinde eşit sayıda molekül vardır. | **a.** Kritik sıcaklık | .......... |
| **2.** Gaz moleküllerinin yüksek basınçlı bölgeden düşük basınçlı bölgeye küçük bir delikten kaçması olayıdır. | **b.** Gaz | .......... |
| **3.** Basınç uygulayarak sıvılaştırılamayan gazın sıcaklığıdır. | **c.** Kısmi Basınçlar Yasası | .......... |
| **4.** Kritik sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda basınçla sıvılaştırılabilen akışkan maddelerdir. | **ç.** Buhar | .......... |
| **5.** Birbirleriyle tepkimeye girmeyen gazların oluşturduğu bir karışımın toplam basıncı, o karışımdaki gazların her birinin kısmi basınçları toplamına eşittir. | **d.** Avogadro Yasası | .......... |
| **6.** Moleküller arası çekim kuvvetinin olmadığı kabul edilen gazlardır. | **e.** Üçlü nokta | .......... |
| **7.** Faz diyagramında katı, sıvı ve gazın birlikte dengede olduğu noktadır. | **f.** Efüzyon | .......... |
| **8.** Kritik sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda basınçla sıvılaştırılamayan akışkan maddelerdir. | **g.** Gerçek gaz | .......... |
| | **h.** İdeal gaz | .......... |

## E. Aşağıda verilen çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.

**1.** I. Basınç uygulayarak sıkıştırılabilir.

II. Tanecikleri arasında büyük boşluklar bulunur.

III. Yayılma hızları mol kütleleri ile doğru orantılıdır.

**Gazlarla ilgili yukarıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**2.** Sabit basınç ve sıcaklıktaki bir kapta 0,4 mol $SO_3$ gazı bulunuyor. Aynı şartlarda kaba 5,6 g $N_2$ gazı eklendiğinde kabın hacmi 120 mL oluyor.

**Buna göre kapta yalnız $SO_3$ gazı varken hacim kaç mililitredir** *(N: 14 g/mol)?*

**A)** 20 **B)** 40 **C)** 60 **D)** 80 **E)** 100

**3.** Sabit sıcaklıkta belirli miktardaki bir gazın basıncı 3 atm, hacmi 6 L'dir.

**Gazın basıncı 5 atm'e çıkarılırsa hacmi kaç litre olur?**

**A)** 1,2 **B)** 2,4 **C)** 3,6 **D)** 4,0 **E)** 4,8

**4.** Sabit basınçta belirli miktardaki bir gazın sıcaklığı 127 °C ve hacmi 4 L'dir.

**Gazın hacminin 6 L olması için sıcaklığı kaç °C olmalıdır?**

**A)** 25 **B)** 273 **C)** 298 **D)** 327 **E)** 600

**5.** 273 °C'taki ve 22,4 L'lik kapta 14 g $N_2$ gazı bulunuyor.

**Aynı sıcaklık ve hacimdeki kabın basıncının 3 atm olması için kaba kaç gram $N_2$ gazı eklenmelidir** *(N: 14 g/mol)?*

**A)** 35 **B)** 28 **C)** 21 **D)** 14 **E)** 7

**6.** I. 0 °C'ta ve 1 atm'de hacmi 22,4 L'dir.

II. 273 K'de ve 760 mmHg'da hacmi 22,4 L'dir.

III. 298 K'de ve 1 atm'de hacmi 22,4 L'dir.

**Normal şartlarda 1 mol gaz için yukarıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız III **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**7.** $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$

**Yukarıdaki tepkimeye göre 7 g $N_2$ gazı, yeterli miktarda $H_2$ gazı ile tepkimeye girdiğinde oluşan $NH_3$ gazının 0 °C'ta ve 5,6 L'lik kaptaki basıncı kaç atmosferdir** *(N: 14 g/mol)?*

**A)** 1,0 **B)** 1,5 **C)** 2,0 **D)** 2,5 **E)** 3,0

**8.** Basıncı 2 atm, sıcaklığı 273 °C olan bir gaz 16,8 L hacim kaplamaktadır.

**Gazın kütlesi 33 g olduğuna göre bu gaz aşağıdakilerden hangisi olabilir** *(C: 12 g/mol, N: 14 g/mol, O: 16 g/mol, S: 32 g/mol)?*

**A)** $CO_2$ **B)** $SO_2$ **C)** $NO_2$ **D)** $N_2$ **E)** $O_2$

**9. Belirli sıcaklıktaki bir kapta kısmi basınçları eşit bir gaz karışımı elde etmek için 13,2 g $CO_2$ gazı ile kaç gram NO gazı karıştırılmalıdır** *(C: 12 g/mol, N: 14 g/mol, O: 16 g/mol)?*

**A)** 3,0 **B)** 4,5 **C)** 6,0 **D)** 7,5 **E)** 9,0

**10.** Bir gazın basıncını P'den 2P'ye çıkarmak için;

I. n ve V sabitken sıcaklık t °C'tan 2t °C'a çıkarılmalı

II. n ve T sabitken hacmi V'den 1/2 V'ye düşürülmeli

III. V ve T sabitken miktarı n'den 2n'e çıkarılmalı

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız I **B)** Yalnız III **C)** I ve II **D)** I ve III **E)** II ve III

**11.** Yoğunluğu 1,25 g/L olan gazın sıcaklığı 0 °C, basıncı 1 atm'dir.

**Bu gaz aşağıdakilerden hangisi olabilir** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, N: 14 g/mol, O: 16 g/mol)?*

**A)** $CH_4$ **B)** $C_2H_6$ **C)** NO **D)** $N_2$ **E)** $N_2O$

**12.** I. Gazın cinsi

II. Gazın sıcaklığı

III. Gazın miktarı

**Yukarıdaki ifadelerden hangileri bir gazın difüzyon (yayılma) hızına bağlıdır?**

**A)** Yalnız I **B)** Yalnız III **C)** I ve II **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**13.** Aynı sıcaklıktaki $H_2$ ve $O_2$ gazları 25 cm uzunluğundaki cam borunun uçlarından aynı anda gönderiliyor.

**Bu gazlarla ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur** *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol)?*

**A)** $O_2$ gazı $H_2$ gazından daha hızlıdır.

**B)** Gazların hızları arasındaki oran $\sqrt{2}$'dir.

**C)** Aynı sıcaklıkta gazların hızları da aynıdır.

**D)** Gazlar, $H_2$ gazına daha uzak mesafede karşılaşır.

**E)** Gazlar, $O_2$ gazının gönderildiği uçtan 10 cm sonra karşılaşır.

**14. Gerçek bir gaz, aşağıdaki şartların hangisinde ideallikten daha fazla sapar?**

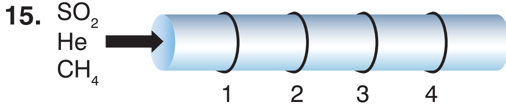
**A)** Basıncının artırılıp sıcaklığının azaltılması ile

**B)** Basıncının azaltılıp sıcaklığının artırılması ile

**C)** Hacminin azaltılıp sıcaklığının artırılması ile

**D)** Hacminin ve sıcaklığının artırılması ile

**E)** Basıncının ve sıcaklığının azaltılması ile

**15.** 


Yukarıdaki cam tüpün bir ucundan $SO_2$, He ve $CH_4$ gazları karışımı gönderiliyor.

**Buna göre gazlarla ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur** *(H: 1 g/mol, He: 4 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol, S: 32 g/mol)?*

**A)** $SO_2$ gazının hızı, $CH_4$ gazının hızının 2 katıdır.

**B)** Cam tüpte en önce $SO_2$ gazı, en son He gazı çıkar.

**C)** $CH_4$ gazı cam tüpten çıktığında, $SO_2$ gazı 2. bölmeye gelir.

**D)** He gazı 2. bölmeye geldiğinde, $CH_4$ gazı 1. bölmeye gelir.

**E)** He gazı 1. bölmeye geldiğinde, $SO_2$ gazı 4. bölmeye gelir.

**16.** I. Difüzyon hızları

II. Kısmi basınçları

III. Ortalama kinetik enerjileri

**Aynı kapta bulunan eşit kütlelerdeki $H_2$ ve He gazları için yukarıda verilenlerden hangileri aynıdır** *(H: 1 g/mol, He: 4 g/mol)?*

**A)** Yalnız III **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**17.** I. Üçlü noktada katı, sıvı ve gaz fazları dinamik dengededir.

II. Kritik sıcaklığın üstündeki madde basınçla sıvılaştırılabilir.

III. Faz sınırının her noktasında komşu iki faz dinamik dengededir.

IV. Kritik nokta, kritik sıcaklık ve kritik basıncın birleştiği noktadır.

**Faz diyagramları ile ilgili yukarıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?**

**A)** I ve II **B)** II ve IV **C)** III ve IV **D)** I, II ve III **E)** I, III ve IV

**18.** Belirli sıcaklıktaki bir kapta $6,02 \cdot 10^{23}$ tane He gazı, 0,1 mol $N_2$ gazı ve 6,4 g $CH_4$ gazı bulunmaktadır.

**Kaptaki toplam basınç 300 mmHg olduğuna göre $CH_4$ gazının kısmi basıncı kaç mmHg'dır** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol)?*

**A)** 30 **B)** 60 **C)** 80 **D)** 120 **E)** 150

**19.** 5,6 L'lik bir kaba 273 °C'ta 1,2 g He, 6,4 g $SO_2$ ve 9,2 g $NO_2$ gazı konuluyor.

**Buna göre kaptaki $NO_2$ gazının kısmi basıncı kaç atmosferdir** *(He: 4 g/mol, N: 14 g/mol, O: 16 g/mol, S: 32 g/mol)?*

**A)** 0,8 **B)** 1,6 **C)** 2,4 **D)** 3,2 **E)** 4,0

**20.** 

$CaCO_3(k) \xrightarrow{ISI} CaO(k) + CO_2(g)$

Yukarıdaki tepkime denklemine göre su üzerinde 27 °C'ta 7,38 L $CO_2$ gazı toplanmıştır.

**Su üzerindeki toplam basınç 406,74 mmHg olduğuna göre toplanan $CO_2$ gazının kütlesi kaç gramdır** *(C: 12 g/mol, O: 16 g/mol, 27 °C'ta $P_{H_2O}$ = 26,74 mmHg )?*

**A)** 3,3 **B)** 4,8 **C)** 6,6 **D)** 8,4 **E)** 11,0

# 3. ÜNİTE SIVI ÇÖZELTİLER VE ÇÖZÜNÜRLÜK

1 > ÇÖZÜCÜ VE ÇÖZÜNEN ETKİLEŞİMLERİ

2 > DERİŞİM BİRİMLERİ

3 > KOLİGATİF ÖZELLİKLER

4 > ÇÖZÜNÜRLÜK

5 > ÇÖZÜNÜRLÜĞE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

## Anahtar Kavramlar

çözünürlük, dipol-dipol etkileşimleri, dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleri, hidrojen bağı, indüklenmiş dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleri, iyon-dipol etkileşimleri, iyon-indüklenmiş dipol etkileşimleri, molalite, molarite

## Ünitede

Her yerinde aynı özellikleri gösteren karışımlar homojen karışımlar, yani çözelti olarak adlandırılır. Çözeltiler, çözücü veya çözünenin katı, sıvı veya gaz olduğu bileşenleri içerir. Çözeltilerin en yaygın türü, çözücüleri sıvı olan çözeltilerdir. Sıvı çözeltiler, sıvı bir çözücü ve bir ya da daha fazla çözünenden meydana gelir. Sıvı bir çözücüde çözünen maddenin çözünürlüğü sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişir. Sıvıda çözünen maddeler genellikle çözündüklerinde iyonlara veya moleküllere ayrışır.

Çözeltiler doğada yaygındır ve bütün hayatın evrelerinde, başta fen bilimleri olmak üzere bilimsel çalışmalarda ve endüstriyel işlemlerde son derece önemlidir.

**ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI**

**1.** Kışın yollara tuz serpilmesinin ve otomobillerin radyatörlerine antifriz konulmasının nedenini araştırınız.

**2.** Gazlı içeceklerin kapağı açıldığında sıvının yüzeyine doğru hızla kabarcıkların çıktığı görülür. Bu durumun nedenini açıklayınız.

# 1. Bölüm

## ÇÖZÜCÜ VE ÇÖZÜNEN ETKİLEŞİMLERİ



### Konular



### Bölümde

Katıları ve sıvıları oluşturan kimyasal türler etkileşimlerle birbirine tutunur. Çözelti oluşumunda bu kimyasal türler arasındaki etkileşimler önemlidir.

Kimyasal türler arasındaki etkileşimler yalnızca katı, sıvı ve gaz hâldeki saf maddeler arasında değil, çözücünün sıvı olduğu bir ortamda çözünmüş iyonlar ve moleküller arasında da meydana gelir. Örneğin deniz suyu çözeltisi, birçok tuzu oluşturan iyonların, karbon dioksit ve oksijen gibi bazı moleküllerin su molekülleriyle etkileşimi sonucunda oluşan çözeltidir. Karbonatlı su çözeltisi karbon dioksit moleküllerinin su molekülleriyle, kolonya çözeltisi ise etanol moleküllerinin su molekülleriyle etkileşimi sonucunda oluşan çözeltilerdir.

## 3.1.1 ÇÖZÜNME OLAYINDA KİMYASAL TÜRLER ARASI ETKİLEŞİMLER

**Düşünelim**



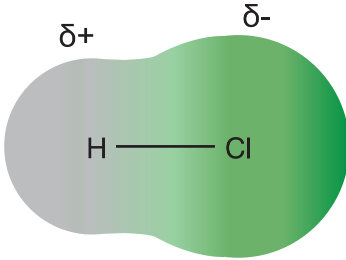
*"Zeytinyağı gibi üste çıkmak" deyimi, herhangi bir konuda kabahati olduğu hâlde kendini haklı çıkarmaya çalışanlar için söylenir. Çözünme olayını göz önünde bulundurarak zeytinyağının suda çözünmeyip suyun üstüne çıkmasını moleküler düzeyde nasıl açıklayabilirsiniz?*

Çözünme olayında kimyasal bir tepkime gerçekleşmez. Dolayısıyla kimyasal bağlar da oluşmaz. Fakat çözünme olayında kimyasal türler arasında van der Waals etkileşimleri ve hidrojen bağı gibi zayıf etkileşimler gerçekleşerek fiziksel bağlar oluşur.

Çözücü ve çözünen molekülleri arasındaki etkileşimler göz önüne alındığında, çözünme olayı "Benzer benzeri çözer." ilkesine göre gerçekleşir. Birbirine benzer moleküller arası kuvvetlere sahip maddeler, birbirleri içerisinde kolayca karışarak çözelti oluşturur. Dolayısıyla çözünme olayı kimyasal türler ile yakından ilişkilidir. Şimdi, çözünme olayında kimyasal türler arası zayıf etkileşimlerin nasıl rol oynadığını açıklayalım.

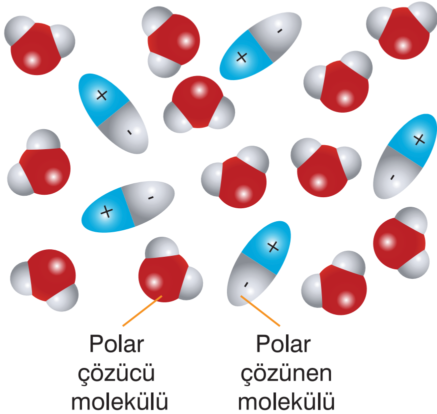
### Dipol-dipol Etkileşimlerinin Gerçekleştiği Çözünme Olayı

HCl, $H_2O$, $NH_3$ ve $CH_3OH$ gibi moleküller polar moleküllerdir. Polar moleküllerde kısmi pozitif (δ+) ve kısmi negatif (δ–) yük ayrımı oluştuğundan bu tür moleküller kalıcı dipollüğe sahiptir (Şekil 3.1.1). Kalıcı dipol moleküllerin zıt yüklü kutupları arasında dipol-dipol etkileşimi gerçekleşir.




*Şekil 3.1.1:* Yük ayrımı gerçekleşen HCl molekülü

Polar maddeler polar çözücülerde iyi çözünür. Örneğin $H_2O$ polar bir çözücüdür. HCl ise polar bir maddedir. Bu nedenle polar bir madde olan HCl, polar bir çözücü olan $H_2O$'da iyi çözünür. Şekil 3.1.2'de çözücünün $H_2O$ olduğu, HCl gibi polar bir maddenin çözünme olayının tanecik modeli verilmiştir.




*Şekil 3.1.2:* Polar su molekülleri ile polar madde molekülleri arasındaki dipol-dipol etkileşimi ve çözünme olayı

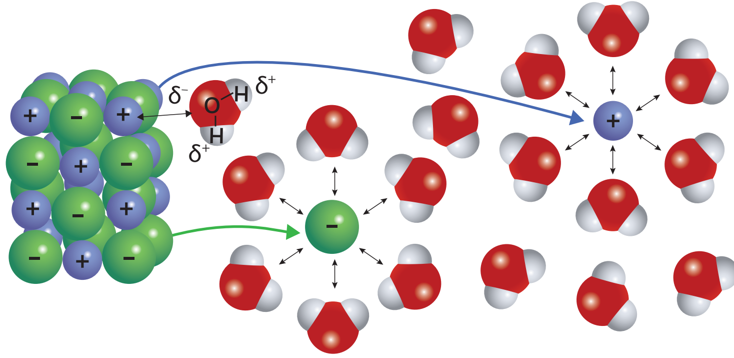
Polar maddeler arasındaki çözünme olayında, polar madde molekülünün kısmi pozitif ucu, çözücü molekülünün kısmi negatif ucu tarafından sarılırken polar madde molekülünün kısmi negatif ucu ise çözücü molekülünün kısmi pozitif ucu tarafından sarılır.

Polar çözünen madde molekülleri ile polar çözücü madde molekülleri arasında dipol-dipol etkileşimleri oluşur. Çözünen ve çözücü molekülleri arasındaki dipol-dipol etkileşimleri, çözünen moleküllerinin ve çözücü moleküllerinin kendi aralarındaki çekim kuvvetinden yeterince büyükse çözünme gerçekleşir.

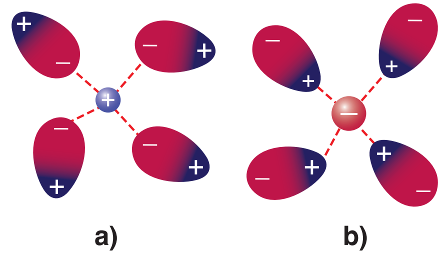
### İyon-Dipol Etkileşimlerinin Gerçekleştiği Çözünme Olayı

İyonik maddenin birçok pozitif ve negatif yüklü iyonları yine birçok polar madde molekülünün kısmi pozitif ve kısmi negatif uçları tarafından sarılır. İyonlar ve kalıcı dipoller arasında iyon-dipol etkileşimi gerçekleşir (s. 113, Şekil 3.1.3).

İyonik maddeler polar çözücülerde iyi çözünür. Örneğin yemek tuzu olarak bilinen NaCl, sodyum iyonlarının ($Na^+$) ve klorür iyonlarının ($Cl^-$) sıkı ve düzenli olarak istiflenmesiyle oluşan iyonik bir kristaldir. Şekil 3.1.4'te çözücünün $H_2O$ olduğu ortamda, NaCl gibi iyonik bir maddenin çözünme olayının tanecik modeli verilmiştir.




*Şekil 3.1.4:* Polar su molekülleri ile iyonik maddenin iyonları arasındaki iyon-dipol etkileşimi ve çözünme olayı




Polar molekül

Pozitif yüklü iyon (katyon)

Negatif yüklü iyon (anyon)

*Şekil 3.1.3:* **a)** Katyonlar, polar molekülün kısmi negatif kutbu ile sarılır. **b)** Anyonlar, polar molekülün kısmi pozitif kutbu ile sarılır.

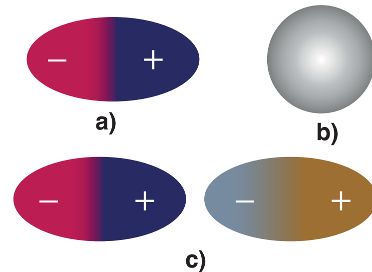
Su molekülleri iyonik madde ile temas ettiğinde iyonik maddenin yüzeyindeki iyonlara yaklaşır ve iyonların etrafını sarar. Su moleküllerinin kısmi negatif uçları, iyonik maddenin pozitif yüklü iyonuna doğru, kısmi pozitif uçları ise iyonik maddenin negatif yüklü iyonuna doğru yönelir. Böylece pozitif ve negatif yüklü iyonlar birçok su molekülü tarafından sarılır. İyonlar ile polar su molekülleri arasındaki iyon-dipol etkileşimleri, iyonlar arasındaki ve su molekülleri arasındaki çekim kuvvetinden yeterince büyükse çözünme gerçekleşir.

**Bilgi Notu**

*Çözünen maddenin çözücü molekülleri tarafından sarılmasına **solvatasyon** denir. Çözücünün su olması durumunda çözünen maddenin su molekülleri tarafından sarılmasına **hidratasyon** ya da **hidratlaşma** denir.*

## Dipol-İndüklenmiş Dipol Etkileşimlerinin Gerçekleştiği Çözünme Olayı

Kalıcı dipollüğe sahip polar bir molekül, apolar bir moleküle yaklaştığında apolar molekülün elektron dağılımını bozarak kısa süreli (geçici) polarlanmasına neden olur. Bu kısa süreli polarlanma ile apolar molekülde kısmi pozitif ve kısmi negatif yük ayrımı nedeniyle anlık dipol oluşur. Bu esnada kalıcı dipoller ile anlık dipollerin zıt kutupları arasında elektrostatik çekim kuvveti oluşmaya başlar. Polar moleküllerde oluşan kalıcı dipoller ile anlık dipoller arasında kısa süreli dipol-indüklenmiş dipol etkileşimi gerçekleşir (Şekil 3.1.5).



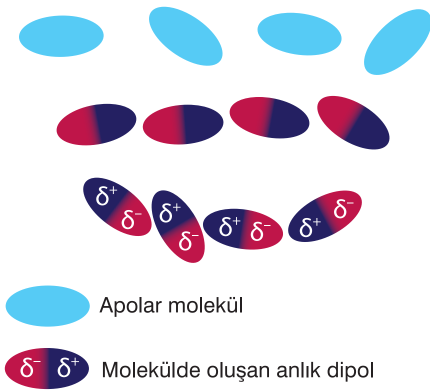

*Şekil 3.1.5:* **a)** Polar molekül **b)** Apolar molekül **c)** Polar ve apolar molekül arasındaki dipol-indüklenmiş dipol etkileşimi

Polar maddeler ile apolar maddeler genellikle birbirleriyle karışarak çözelti oluşturmaz. Örneğin polar $H_2O$ ve apolar $CCl_4$ maddeleri birbiri içinde çözünmez. Oysa $CO_2$ ve $O_2$ gibi apolar gazlar basınç etkisiyle polar $H_2O$'da çok az da olsa çözünür.

### İyon-İndüklenmiş Dipol Etkileşimlerinin Gerçekleştiği Çözünme Olayı

İyonik bir maddenin pozitif ve negatif yüklü iyonları, kısmi pozitif ve kısmi negatif yükle yüklenerek anlık dipoller oluşturan apolar madde molekülleri ile etkileşir. İyonlar ve anlık dipoller arasında iyon-indüklenmiş dipol etkileşimi gerçekleşir. İyonik maddeler apolar çözücülerde iyi olmamakla birlikte çok az da olsa çözünebilir. Örneğin iyonik bir katı olan KI apolar moleküllü $CCl_4$ sıvısına katıldığında $CCl_4$ molekülleri potasyum iyonu ($K^+$) ve iyodür iyonu ($I^-$) ile çok az da olsa etkileşir ve kısmen çözünme gerçekleşir.

### İndüklenmiş Dipol-İndüklenmiş Dipol Etkileşimlerinin Gerçekleştiği Çözünme Olayı

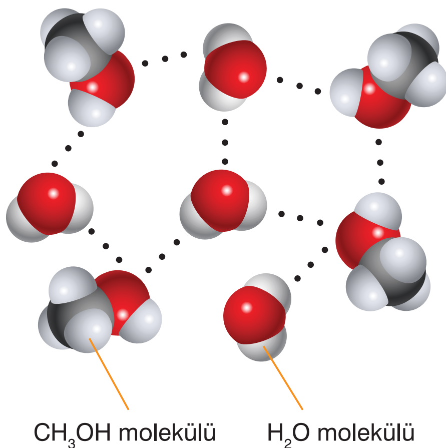



*Şekil 3.1.6:* Apolar moleküller arasında anlık dipollerin oluşumu.

Asal gaz atomun veya apolar molekülün bir bölgesinin kısmi pozitif yükle, diğer bölgesinin kısmi negatif yükle yüklenerek oluşan anlık dipoller arasında indüklenmiş dipol-indüklenmiş dipol etkileşimleri gerçekleşir (Şekil 3.1.6).

Apolar moleküller apolar çözücülerde iyi çözünür. Örneğin apolar iyot ($I_2$) katısı, apolar karbon tetraklorür ($CCl_4$) çözücüde iyi çözünür. Apolar $I_2$ molekülleri arasındaki etkileşim ile apolar $CCl_4$ molekülleri arasındaki etkileşim türü aynıdır. Her iki molekülde de anlık dipollerin oluşturduğu London kuvvetleri vardır. Dolayısıyla etkileşim türü aynı olan $I_2$ ve $CCl_4$ moleküller arasında homojen bir karışım meydana gelerek $I_2$ katısı $CCl_4$ çözücüde çözünerek çözelti oluşturur.

### Hidrojen Bağının Gerçekleştiği Çözünme Olayı



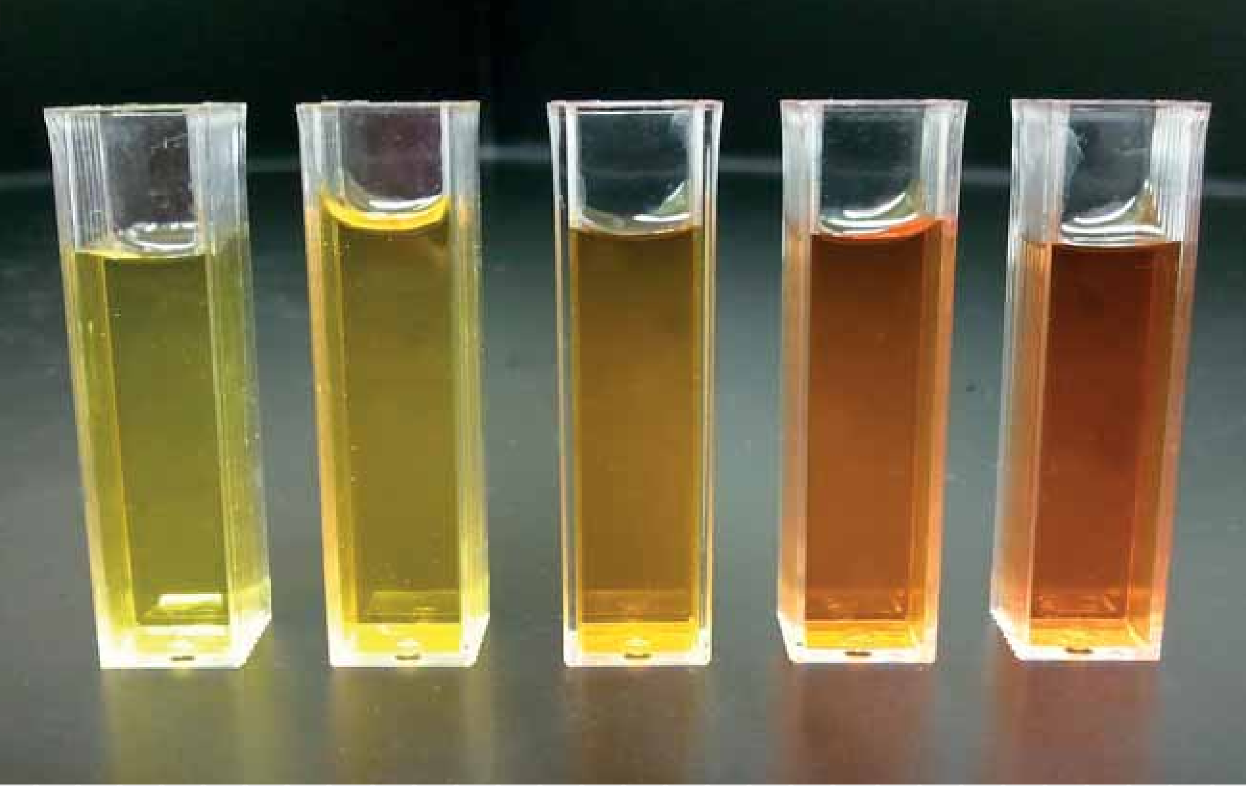

*Şekil 3.1.7:* Moleküller arasındaki hidrojen bağı noktalarla gösterilmiştir. $CH_3OH$ ve $H_2O$ moleküllerinin hem kendi hem de birbirleri arasındaki hidrojen bağı ve çözünme olayı

Polar maddeler polar çözücülerle etkileşim içinde olduklarında kolaylıkla çözünürler. Örneğin $CH_3OH$ ve $H_2O$ sıvıları birbiri içinde kolaylıkla karışarak çözünür ve hidrojen bağı oluşur (Şekil 3.1.7).

$CH_3OH$ ve $H_2O$ moleküllerindeki O – H bağları polardır. O atomları bağ elektronları üzerinde kuvvetli bir çekim uygular ve H atomu neredeyse tamamen elektronsuz kalır. Çok küçük olması nedeniyle kısmi pozitif yük içeren H atomu, bir diğer moleküldeki O atomunun ortaklanmamış elektron çiftlerinden birine çok yaklaşabilir. Kısmi pozitif yük ile ortaklanmamış elektron çifti birbirini kuvvetle çeker ve H bağı oluşur. Böylece $CH_3OH$ ve $H_2O$ molekülleri birbiri içerisinde karışarak çözünür.

# 2. Bölüm

## DERİŞİM BİRİMLERİ

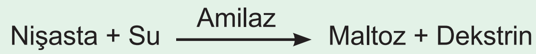


### Konular



### Bölümde

Yetişkin bir insan vücudunun yaklaşık kütlece %65'i sudur ve bütün canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için suya ihtiyaç duyarlar. Dolayısıyla insan vücudunda meydana gelen biyokimyasal tepkimeler de dâhil kimyada tepkimelerin önemli bir bölümü sulu ortamda gerçekleşir. Örneğin insanlar, tükettiği en yaygın karbonhidrat olan nişastalı gıdaların sindirimine yardımcı olmak için tükürük bezlerinde ve pankreasta amilaz enzimi üretirler. Amilaz enzimi sulu ortamda biyokimyasal olarak nişastayı maltoz ve dekstrin moleküllerine parçalar.



Nişasta + Su $\xrightarrow{\text{Amilaz}}$ Maltoz + Dekstrin

Amilaz enziminin aktivitesine bağlı olarak çözeltinin soluk sarıdan koyu turuncu-kırmızıya kadar değişen rengi maltoz derişimi ile ilişkilidir. Amilaz enziminin aktivitesi arttıkça daha fazla maltoz üretilir. Bu da çözeltiyi daha fazla koyu turuncu-kırmızıya dönüştürür. Bir çözelti nicel olarak incelenmek istendiğinde o çözeltinin derişiminin bilinmesi gerekir. Çözelti derişimleri hangi birimlerle ifade edilir?

## 3.2.1 ÇÖZELTİLERDE DERİŞİM

Belirli miktarlarda çözelti hazırlarken çözücü ve çözünenin miktarlarının bilinmesi gerekir. Çözeltide miktarlar belirtilirken derişim kavramı kullanılır. **Derişim**, belirli miktardaki çözücü veya çözelti içerisinde çözünmüş olarak bulunan madde miktarıdır.

Kimyada, üstünlükleri yanında sınırlamaları da olan, değişik amaçlar ve hesaplamalar için farklı birimlerle ifade edilen derişimler vardır. Şimdi, bu derişim birimlerinden molarite ve molaliteyi tanıyalım. Ayrıca kütlece yüzde, hacimce yüzde, mol kesri ve ppm kavramlarını hatırlayalım.

### Molarite

1 L çözeltide çözünen maddenin mol sayısına **molarite** (M) denir. Bazen derişim ile ilgili hesaplamalarda, tanımda belirtilen 1 L çözelti hacmi yerine 1000 mL hacim de kullanılmaktadır. Molaritenin birimi mol/litre (mol/L)'dir.

2 M'lık (molarlık) NaOH çözeltisi denildiğinde, 1 L çözeltide 2 mol NaOH katısının çözündüğü anlaşılır. Molarite tanımı aşağıdaki gibi formülleştirilebilir:

$$\text{Molarite} = \frac{\text{Çözünenin mol sayısı (mol)}}{\text{Çözeltinin hacmi (L)}}$$

Molarite M, mol sayısı n ve çözelti hacmi V ile gösterilerek molarite hesaplamalarında aşağıdaki sembolleştirilmiş formül kullanılır:

$$M = \frac{n}{V}$$

**Bilgi Notu**

*Deneysel çalışmalarda molar derişimin en önemli dezavantajı sıcaklığa bağlı oluşudur. Sıcaklık, sıvı hacminde büzülmeye ve genleşmeye neden olduğundan çözeltinin derişimini değiştirir. Bu nedenle çalışmalar hangi sıcaklıkta yapılacaksa kullanılacak çözelti de o sıcaklıkta hazırlanmalı ve hacimleri kontrol edilmelidir.*

**Örnek 1**

**500 mL çözeltide 0,2 mol KBr çözündüğüne göre çözeltinin derişimi kaç molardır?**

**Çözüm 1**

500 mL = 0,5 L

$$M = \frac{n}{V} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4 \text{ mol/L}$$

**Örnek 2**

**2 L çözelti 3,65 g HCl içerdiğine göre çözeltinin derişimi kaç molardır** *(H: 1 g/mol, Cl: 35,5 g/mol)?*

### Çözüm 2

HCl için $M_A = 1 + 35,5 = 36,5$ g/mol

$$n = \frac{m}{M_A} = \frac{3,65}{36,5} = 0,1 \text{ mol} \qquad M = \frac{n}{V} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ mol/L}$$

### Örnek 3

**Kütlece %70'lik $HNO_3$ çözeltisinin yoğunluğu 1,42 g/mL'dir. $HNO_3$ çözeltisinin derişimi kaç molardır** *(H: 1 g/mol, N: 14 g/mol, O: 16 g/mol)?*

### Çözüm 3

$HNO_3$ için $M_A = 1 + 14 + (3 \cdot 16) = 63$ g/mol

Yoğunluk değerini kullarak 1000 mL çözeltinin kütlesini hesaplayalım.

$$d = \frac{m}{V} \Rightarrow 1,42 = \frac{m}{1000} \Rightarrow m = 1420 \text{ g}$$

Çözelti, kütlece %70'lik $HNO_3$ içerdiğinden, kütlece yüzde derişim formülünü kullanarak 1 L çözeltide çözünen $HNO_3$ miktarını hesaplayalım.

$$\text{Kütlece yüzde} = \frac{\text{Çözünenin kütlesi (g)}}{\text{Çözeltinin kütlesi (g)}} \cdot 100$$

$$70 = \frac{\text{Çözünenin kütlesi}}{1420} \cdot 100$$

$$\text{Çözünenin kütlesi} = \frac{70 \cdot 1420}{100} = 994 \text{ g}$$

$$n = \frac{m}{M_A} = \frac{994}{63} = 15,77 \text{ mol}$$

15,77 mol, 1 L çözeltide olduğundan bu değer aynı zamanda molariteye eşittir.

### Alıştırma 1

1. **0,2 M'lık 200 mL $Ca(OH)_2$ çözeltisinde kaç gram $Ca(OH)_2$ vardır** *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol, Ca: 40 g/mol)?*

2. **Kütlece %37'lik HCl çözeltisinin yoğunluğu 1,19 g/mL'dir. HCl çözeltisinin derişimi kaç molardır** *(H: 1 g/mol, Cl: 35,5 g/mol)?*

## Uyarı



*Molarite (M) ile molalite (m) derişim birimlerini karıştırarak hesaplamalarda yanlışa düşülebilmektedir. Bu nedenle ne sorulduğuna çok dikkat edilmelidir.*

## Molalite

1 kg çözücüde çözünen maddenin mol sayısına **molalite** (*m*) denir. Bazen derişim ile ilgili hesaplamalarda, tanımda belirtilen çözücünün 1 kg kütlesi yerine 1000 g kütle de kullanılmaktadır. Molalitenin birimi mol/kilogram (mol/kg)'dır.

3 *m*'lik (molallik) KCl çözeltisi denildiğinde, 1 kg çözücüde 3 mol KCl katısının çözündüğü anlaşılır. Molalite tanımı aşağıdaki gibi formülleştirilebilir:

$$\text{Molalite} = \frac{\text{Çözünenin mol sayısı (mol)}}{\text{Çözücünün kütlesi (kg)}}$$

### Örnek 4

**240 g suda 24 g NaOH katısı çözündüğüne göre çözeltinin derişimi kaç molaldir** *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol, Na: 23 g/mol)?*

### Çözüm 4

240 g = 0,24 kg

NaOH için $M_A = 23 + 16 + 1 = 40$ g/mol

$$n = \frac{m}{M_A} = \frac{24}{40} = 0,6 \text{ mol}$$

$$\text{Molalite} = \frac{\text{Çözünenin mol sayısı (mol)}}{\text{Çözücünün kütlesi (kg)}} = \frac{0,6}{0,24} = 2,5 \text{ mol/kg}$$

### Örnek 5

**0,15 *m* potasyum permanganat ($KMnO_4$) çözeltisi hazırlamak için 500 g suda kaç gram $KMnO_4$ çözünmelidir** *(O: 16 g/mol, K: 39 g/mol, Mn: 55 g/mol)?*

### Çözüm 5

500 g = 0,5 kg

$KMnO_4$ için $M_A = 39 + 55 + (4 \cdot 16) = 158$ g/mol

$$\text{Molalite} = \frac{\text{Çözünenin mol sayısı (mol)}}{\text{Çözücünün kütlesi (kg)}}$$

$$0,15 = \frac{n}{0,5} \Rightarrow n = 0,15 \cdot 0,5 = 0,075 \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{M_A} \Rightarrow 0,075 = \frac{m}{158} \Rightarrow m = 11,85 \text{ g}$$

## Alıştırma 2

**250 g suda 128 g $CH_3OH$ çözündüğüne göre çözeltinin derişimi kaç molaldir** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol)?*

### Kütlece Yüzde

100 gram çözeltide çözünen maddenin gram cinsinden miktarına **kütlece yüzde** (%m/m) denir. Kütlece yüzdede iki benzer nicelik birbirine oranlandığından kütlece yüzdenin birimi yoktur. Kütlece yüzde tanımı aşağıdaki gibi formülleştirilebilir:

$$\text{Kütlece yüzde} = \frac{\text{Çözünenin kütlesi (g)}}{\text{Çözeltinin kütlesi (g)}} \cdot 100$$

## Örnek 6

**170 g suda 30 g şeker çözünmesiyle hazırlanan çözelti, kütlece yüzde kaçlıktır?**

## Çözüm 6

$$\text{Kütlece yüzde} = \frac{\text{Çözünenin kütlesi (g)}}{\text{Çözeltinin kütlesi (g)}} \cdot 100$$

$$\text{Kütlece yüzde} = \frac{30}{170 + 30} \cdot 100 = \%15$$

## Örnek 7

**Kütlece %15'lik 200 g tuz çözeltisi ile kütlece %20'lik 300 g tuz çözeltisi karıştırıldığında yeni çözelti kütlece yüzde kaçlıktır?**

## Çözüm 7

Yeni çözeltideki kütlece tuz yüzdesini hesaplamadan önce, her bir çözeltideki tuz miktarını hesaplayalım.

*1. çözeltideki tuz miktarı;*

100 g çözeltide 15 g tuz varsa
200 g çözeltide x

$$x = \frac{200 \cdot 15}{100} = 30 \text{ g tuz var.}$$

## Biliyor musunuz?



*Yüksek sıcaklıklardaki fırınlarda üretilen demir, pik demirdir. Daha çok, dökme demir ve çelik üretiminde ham madde olarak kullanılır. Pik demir kütlece %90-95 demir, %3,5-4,5 karbon, %0,4-1,0 mangan, %0,5-1,2 silisyum ve eser miktarda fosfor ve kükürt elementlerini içerir.*



*2. çözeltideki tuz miktarı;*

100 g çözeltide 20 g tuz varsa

300 g çözeltide x

$$x = \frac{300 \cdot 20}{100} = 60 \text{ g tuz var.}$$

İki çözelti karıştırıldığında toplam tuz kütlesi; 30 + 60 = 90 g'dır.

İki çözeltinin toplam kütlesi; 200 + 300 = 500 g'dır.

$$\text{Kütlece yüzde} = \frac{\text{Çözünenin kütlesi (g)}}{\text{Çözeltinin kütlesi (g)}} \cdot 100$$

$$\text{Kütlece yüzde} = \frac{90}{500} \cdot 100 = \%18$$

**Alıştırma 3**

**Kütlece %10'luk 80 g şeker çözeltisine 120 g su eklendiğinde yeni çözelti kütlece yüzde kaçlıktır?**

### Hacimce Yüzde

100 mL çözeltide çözünen maddenin mililitre cinsinden miktarına **hacimce yüzde** (%V/V) denir. Hacimce yüzdede, iki benzer nicelik birbirine oranlandığından, hacimce yüzdenin birimi yoktur. Hacimce yüzde tanımı aşağıdaki gibi formülleştirilebilir:

$$\text{Hacimce yüzde} = \frac{\text{Çözünenin hacmi (mL)}}{\text{Çözeltinin hacmi (mL)}} \cdot 100$$

**Örnek 8**

**440 mL suya 60 mL etanol eklenmesi ile hazırlanan çözelti hacimce yüzde kaçlıktır** *(Hesaplamada hacim değişimi ihmal edilecektir.)?*

**Çözüm 8**

$$\text{Hacimce yüzde} = \frac{\text{Çözünenin hacmi (mL)}}{\text{Çözeltinin hacmi (mL)}} \cdot 100$$

$$\text{Hacimce yüzde} = \frac{60}{440 + 60} \cdot 100 = \%12$$

## Örnek 9

**Hacimce %18'lik 350 mL metanol çözeltisinde metanolün ve suyun hacmi kaç mililitredir** *(Hesaplamada hacim değişimi ihmal edilecektir.)?*

## Çözüm 9

$$\text{Hacimce yüzde} = \frac{\text{Çözünenin hacmi (mL)}}{\text{Çözeltinin hacmi (mL)}} \cdot 100$$

$$18 = \frac{\text{Metanol hacmi}}{350} \cdot 100$$

$$\text{Metanol hacmi} = \frac{18 \cdot 350}{100} = 63 \text{ mL}$$

$$\text{Suyun hacmi} = 350 - 63 = 287 \text{ mL}$$

## Alıştırma 4

**260 mL suya 140 mL antifriz eklenerek hazırlanan çözelti hacimce yüzde kaçlıktır** *(Hesaplamada hacim değişimi ihmal edilecektir.)?*

### Mol Kesri

Çözeltideki bir bileşenin mol sayısının, çözeltideki tüm bileşenlerin mol sayılarının toplamı oranına **mol kesri** ($\mathcal{X}$) denir. Mol kesrinin birimi yoktur. A ve B gibi iki bileşenden oluşan bir karışımda, her bir bileşenin mol kesri tanıma göre aşağıdaki gibi formülleştirilebilir:

$$\mathcal{X}_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \qquad \mathcal{X}_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

Formüllerde $\mathcal{X}_A$; A bileşeninin mol kesri, $\mathcal{X}_B$; B bileşeninin mol kesri, $n_A$; A bileşeninin mol sayısı ve $n_B$; B bileşeninin mol sayısıdır. Çözeltiyi oluşturan bileşenlerin mol kesirlerinin toplamı daima 1'e eşittir.

$$\mathcal{X}_A + \mathcal{X}_B = \frac{n_A}{n_A + n_B} + \frac{n_B}{n_A + n_B} = 1$$

### Bilgi Notu



*Molalite ve mol kesri sıcaklıktan bağımsız olup çözeltinin toplam hacmine bağlı değildir.*

## Örnek 10

**252 g $H_2O$'da 64 g $CH_3OH$ çözünmesiyle oluşan çözeltide $H_2O$'yun ve $CH_3OH$'ün mol kesri nedir** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol)?*

**Çözüm 10**

$H_2O$ için $M_A = (2 \cdot 1) + 16 = 18$ g/mol

$CH_3OH$ için $M_A = 12 + (3 \cdot 1) + 16 + 1 = 32$ g/mol

$$n_{H_2O} = \frac{m}{M_A} = \frac{252}{18} = 14 \text{ mol} \qquad n_{CH_3OH} = \frac{m}{M_A} = \frac{64}{32} = 2 \text{ mol}$$

$$X_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{H_2O} + n_{CH_3OH}} = \frac{14}{14+2} = 0,875 \text{ mol}$$

$$X_{CH_3OH} = \frac{n_{CH_3OH}}{n_{H_2O} + n_{CH_3OH}} = \frac{2}{14+2} = 0,125 \text{ mol}$$

Çözeltideki $H_2O$'yun ve $CH_3OH$'ün mol kesirleri toplandığında 1'e eşit olduğu görülür.

$$X_{H_2O} + X_{CH_3OH} = 0,875 + 0,125 = 1$$

**Örnek 11**

**Kütlece %46'lık $C_2H_5OH$ çözeltisinde $H_2O$'yun ve $C_2H_5OH$'ün mol kesri nedir** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol)*?

**Çözüm 11**

$H_2O$ için $M_A = (2 \cdot 1) + 16 = 18$ g/mol

$C_2H_5OH$ için $M_A = (2 \cdot 12) + (5 \cdot 1) + 16 + 1 = 46$ g/mol

Kütlece %46'lık çözeltide 46 g $C_2H_5OH$ ve 100 - 46 = 54 g $H_2O$ vardır.

$$n_{H_2O} = \frac{m}{M_A} = \frac{54}{18} = 3 \text{ mol} \qquad n_{C_2H_5OH} = \frac{m}{M_A} = \frac{46}{46} = 1 \text{ mol}$$

$$X_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{H_2O} + n_{C_2H_5OH}} = \frac{3}{3+1} = 0,75$$

$$X_{C_2H_5OH} = \frac{n_{C_2H_5OH}}{n_{H_2O} + n_{C_2H_5OH}} = \frac{1}{3+1} = 0,25$$

$$X_{H_2O} + X_{C_2H_5OH} = 0,75 + 0,25 = 1$$

**Alıştırma 5**

**Kütlece %10'luk NaOH çözeltisinde $H_2O$'nun ve NaOH'in mol kesri nedir** *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol, Na: 23 g/mol)*?

### ppm

$10^6$ mg çözeltide çözünmüş maddenin miligram cinsinden miktarına **milyonda bir kısım** (ppm: **p**arts **p**er **m**illion) denir. Çok seyreltik sulu çözeltilerde, çözeltinin yoğunluğu suyun yoğunluğuna (1 g/mL) eşit olarak kabul edildiğinden, milyonda bir kısım, 1 L sulu çözeltideki çözünmüş maddenin miligram cinsinden ifadesi olarak da kullanılır. Birimi ppm veya miligram/litre (mg/L)'dir. Milyonda bir kısım aşağıdaki gibi iki şekilde de formülleştirilebilir:

$$\text{ppm} = \frac{\text{Çözünenin kütlesi (mg)}}{\text{Çözeltinin kütlesi (mg)}} \cdot 10^6$$

$$\text{ppm} = \frac{\text{Çözünenin kütlesi (mg)}}{\text{Çözeltinin hacmi (L)}}$$

**Örnek 12**

**5 L'lik çözeltide 2,8 mg $Na^+$ iyonu bulunduğuna göre çözeltinin derişimini ppm olarak hesaplayınız.**

**Çözüm 12**

$$\text{ppm} = \frac{\text{Çözünenin kütlesi (mg)}}{\text{Çözeltinin hacmi (L)}} = \frac{2{,}8}{5} = 0{,}56 \text{ ppm}$$

**Alıştırma 6**

**500 mL su örneğinde 3,6 mg $Pb^{2+}$ iyonu bulunduğuna göre çözeltinin derişimini ppm olarak hesaplayınız.**

## 3.2.2 ÇÖZELTİLERİN HAZIRLANMASI

Laboratuvarlarda yapılan bazı çalışmalarda çözeltilere ihtiyaç duyulabilir. Böyle durumlarda, saf katı maddelerden veya stok çözeltilerden istenilen derişimlerde çözeltilerin hazırlanması gerekebilir.

Çözeltilerin hazırlanması büyük bir dikkat, titizlik ve sabır gerektirir. Çünkü saf katı maddelerden çözelti hazırlamak için çözeltisi hazırlanacak kimyasal maddeler sabit tartıma getirilmiş olmalıdır. Stok çözeltilerden yeni çözelti hazırlarken çözeltinin saklandığı kap üzerindeki yoğunluk ve yüzde değerleri veya molar derişimi dikkate alınarak hesaplamalar yapılmalıdır. Katı maddelerin terazide tartılmasında ve çözeltilerin stok çözeltilerden alınmasında acele edilmeden, gereken miktarlarda alınmasına özen gösterilmelidir.

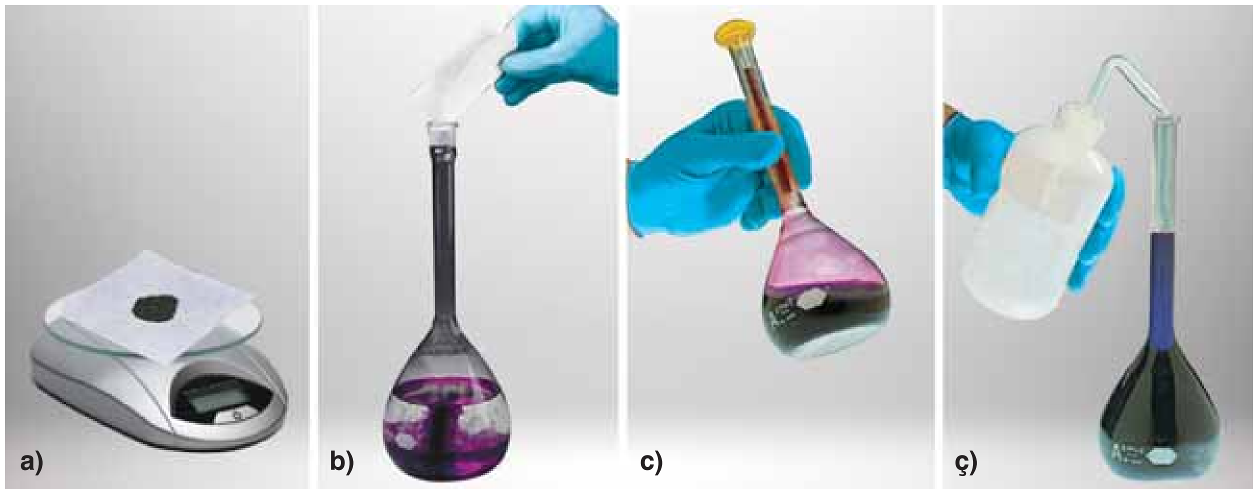
**Bilgi Notu**



*Laboratuvarda analizi yapılacak herhangi bir bileşen için hazırlanacak standart çözeltilerin oda sıcaklığında hazırlanması gerekir. Çözeltilerin hazırlanmasında, mümkünse aynı markalardaki ölçülü cam balonlar kullanılmalıdır. Çözeltiler ne kadar hassas hazırlanırsa deney sonuçları da o kadar tekrarlanabilir ve karşılaştırılabilir olur.*

### Katı Maddelerden Çözelti Hazırlanması

Çözeltisi hazırlanacak olan katı maddelerden ne kadar alınacağı, istenen derişim birimine göre yapılacak hesaplamayla belirlenir. Miktarı hesaplanan katı madde hassas bir terazide tartılır (Resim 3.2.1.a). Hazırlanacak çözeltinin hacminden daha az bir hacimde çözücü bulunan ölçülü cam balona katı madde dikkatlice eklenip ölçülü cam balon yavaşça çalkalanır (Resim 3.2.1.b,c). Katı maddenin tamamı çözündükten sonra cam balonun ölçü çizgisine kadar çözücü eklenir (Resim 3.2.1.ç). Ölçülü cam balon kapağı ile kapatılıp birkaç defa ters yüz edilerek çözeltinin her yerinde derişimin aynı olması sağlanır.




***Resim 3.2.1:*** Saf katı maddeden çözelti hazırlanması

Şimdi, saf $NaNO_3$ katısından derişimi 0,1 M olan 500 mL sulu çözeltinin nasıl hazırlanacağını ele alalım. Önce $NaNO_3$'ın mol kütlesini hesaplayalım (N:14 g/mol, O:16 g/mol, Na:23 g/mol).

$NaNO_3$ için $M_A = 23 + 14 + (3 \cdot 16) = 85$ g/mol

Molarite, 1 L çözeltide çözünen maddenin mol sayısı olduğundan mL biriminde istenilen çözelti hacmini hesaplamalarda kullanabilmek için litre birimine dönüştürülmesi gerekir. Buna göre;

500 mL = 0,5 L'dir.

0,1 M'lık 500 mL $NaNO_3$ çözeltisinde molarite ve hacim bilindiğinden, çözünen $NaNO_3$ katısının mol sayısı, molarite hesaplanmasında kullanılan formül ile bulunabilir.

$$M = \frac{n}{V} \Rightarrow 0,1 = \frac{n}{0,5} \Rightarrow n = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ mol}$$

$NaNO_3$'ın mol sayısı ve mol kütlesi bilindiğinden, $NaNO_3$ katısının miktarı;

**Uyarı** 

*Bazen 1 M çözeltinin, 1 L çözücü içinde 1 mol çözünen içerdiği varsayılarak hataya düşülür. 1 L çözücü üzerine 1 mol çözünen eklenip çözüldüğünde toplam hacim genellikle 1 L'den fazla olur. Bu nedenle molar derişimde çözelti hazırlarken önce çözünen maddeyi az bir çözücüde çözüp, sonra istenilen hacme kadar çözücü eklenmelidir.*

$$n = \frac{m}{M_A} = 0,05 = \frac{m}{85} \Rightarrow m = 0,05 \cdot 85 = 4,25 \text{ g'dır.}$$

Buna göre 4,25 g $NaNO_3$ katısını terazide tartıp bir miktar suda çözdükten sonra, hacim 500 mL'ye tamamlanana kadar su eklenir.

**Örnek 13**

**0,25 M'lık 400 mL NaOH çözeltisi nasıl hazırlanır** *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol, Na: 23 g/mol)?*

**Çözüm 13**

NaOH için $M_A$ = 23 + 16 + 1 = 40 g/mol

400 mL = 0,4 L

$$M = \frac{n}{V} \Rightarrow 0,25 = \frac{n}{0,4} \Rightarrow n = 0,25 \cdot 0,4 = 0,1 \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{M_A} \Rightarrow 0,1 = \frac{m}{40} \Rightarrow m = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ g}$$

Buna göre 4 g NaOH katısını terazide tartıp bir miktar suda çözdükten sonra, hacim 400 mL'ye tamamlanana kadar su eklenir.

Saf katı maddelerden çözelti hazırlarken katı maddelerin kristal suyu ($H_2O$) içerip içermediğine dikkat edilmelidir. Molar derişimde çözelti hazırlanmasında katı maddedeki kristal suyu için hesaplama gerekmez. Ancak yüzde ve molal derişimlerde çözelti hazırlarken katı maddenin içerdiği kristal suyu hesaba katılmalıdır. Örneğin bakır(II) sülfat pentahidrat ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) katısının mol kütlesi;

$M_A$ = 159,5 + (5 · 18) = 249,5 g/mol'dür.

1 mol $CuSO_4 \cdot 5H_2O$'ın 249,5 gramında 159,5 g $CuSO_4$ ve 90 g $H_2O$ vardır.

**Örnek 14**

**Kristal suyu içeren $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ katısından 0,1 M 50 mL $CuSO_4$ çözeltisi nasıl hazırlanır** *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol, S: 32 g/mol, Cu: 63,5 g/mol)?*

**Çözüm 14**

50 mL = 0,05 L

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ için $M_A$ = 249,5 g/mol

$$M = \frac{n_{CuSO_4}}{V} \Rightarrow 0,1 = \frac{n_{CuSO_4}}{0,05} \Rightarrow n_{CuSO_4} = 0,1 \cdot 0,05 = 5 \cdot 10^{-3}\ \text{mol}$$

$$n_{CuSO_4} = n_{CuSO_4 \cdot 5H_2O} = 5 \cdot 10^{-3}\ \text{mol}$$

$$n_{CuSO_4 \cdot 5H_2O} = \frac{m}{M_A} \Rightarrow 5 \cdot 10^{-3} = \frac{m}{249,5}$$

$$m = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 249,5 = 1,2475\ \text{g}$$

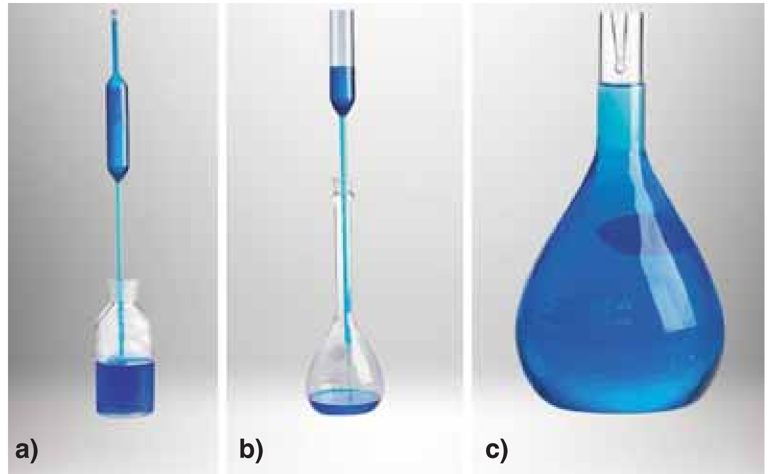
Buna göre 1,2475 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ katısını bir miktar suda çözdükten sonra, hacim 50 mL'ye tamamlanana kadar su eklenir.

### Stok Çözeltiden Yeni Çözelti Hazırlanması

Stok çözeltiden yeni çözelti hazırlamak için ya molar derişimi bilinen derişik stok çözelti ya da yoğunluğu ve kütlece yüzdesi bilinen derişik stok çözelti kullanılarak seyreltme işlemi yapılır. Bu işlemde, stok çözeltiden hesaplanarak alınan çözelti, istenen hacme göre alınmış ölçülü cam balona konulur. Çözelti üzerine cam balonun ölçü çizgisine kadar çözücü eklenir (Resim 3.2.2). Ölçülü cam balon kapağı ile kapatılıp birkaç defa ters yüz edilerek çözeltinin her yerinde derişimin aynı olması sağlanır.

**Bilgi Notu**

*Derişimi düşük çözeltiler elde etmek için derişik çözeltiler seyreltilir. **Seyreltme**, derişimi fazla olan bir çözeltiden, derişimi az olan veya seyreltik bir çözelti elde etme işlemidir.*




*Resim 3.2.2:* Derişimi bilinen derişik stok çözeltiden, daha az derişik ya da seyreltik çözelti hazırlanması

$M_1$ stok çözeltinin derişimini, $V_1$ stok çözeltiden alınması gereken hacmi, $M_2$ seyreltik çözeltinin derişimini ve $V_2$ seyreltik çözeltinin hacmini göstermek üzere ayrı ayrı aşağıdaki eşitlikleri yazabiliriz:

$n_1 = M_1 \cdot V_1$ $\qquad$ $n_2 = M_2 \cdot V_2$

Çözücü ekleyerek bir çözelti seyreltildiğinde çözünen maddenin miktarı değişmeyeceğinden, seyreltmeden önce stok çözeltiden alınan çözeltinin mol sayısı, seyreltildikten sonra

**Unutmayalım**

*Derişimi bilinen bir çözelti, çözücü ekleyerek seyreltildiğinde çözünen maddenin miktarı değişmez. Ancak çözeltinin hacmi değişeceğinden derişimi değişir.*

çözeltinin mol sayısına eşittir. Yani $n_1 = n_2$ olacağından iki eşitlik birleştirilerek seyreltme aşağıdaki gibi formülleştirilebilir:

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

Bu formül, üç değer bilindiğinde dördüncü değerin hesaplanmasında kullanılır.

**Örnek 15**

**1,0 M NaOH çözeltisinden 0,4 M'lık 5 L NaOH çözeltisi nasıl hazırlanır?**

**Çözüm 15**

$M_1 = 1,0\,M$

$V_1 = ?\,L$

$M_2 = 0,4\,M$

$V_2 = 5\,L$

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$
$$1,0 \cdot V_1 = 0,4 \cdot 5$$
$$V_1 = 2\ L$$

Buna göre 1,0 M'lık NaOH çözeltisinden 2 L alınıp hacim su ile 5 L'ye tamamlanır.

**Örnek 16**

**Yoğunluğu 1,19 g/mL olan kütlece %37'lik HCl çözeltisinden, 1,0 M'lık 2,5 L HCl çözeltisi nasıl hazırlanır** *(H: 1 g/mol, Cl: 35,5 g/mol)?*

**Çözüm 16**

HCl için $M_A = 1 + 35,5 = 36,5$ g/mol

1 L veya 1000 mL çözeltideki mol sayısı molariteyi vereceğinden, önce yoğunluk değerini kullanarak 1000 mL çözeltinin kütlesini hesaplayalım.

$$d = \frac{m}{V} \Rightarrow 1,19 = \frac{m}{1000} \Rightarrow m = 1190\,g$$

Çözelti, kütlece %37'lik HCl içerdiğinden kütlece yüzde derişim formülünü kullanarak çözeltide çözünen HCl miktarını hesaplayalım.

$$\text{Kütlece yüzde} = \frac{\text{Çözünenin kütlesi (g)}}{\text{Çözeltinin kütlesi (g)}} \cdot 100$$

$$37 = \frac{\text{Çözünenin kütlesi}}{1190\,g} \cdot 100$$

## Hatırlatma



*Stok çözeltiden seyreltik çözelti hazırlarken göz, cam balonun ölçü çizgisinin hizasına getirilmeli, çözücünün oluşturacağı içbükey meniskusün alt çizgisi ile cam balonun ölçü çizgisi temas edecek şekilde çözücü eklenmelidir.*



$$\text{Çözünenin kütlesi} = \frac{37 \cdot 1190}{100} = 440,3 \text{ g}$$

$$n = \frac{m}{M_A} = \frac{440,3}{36,5} = 12,06 \text{ mol}$$

12,06 mol, 1 L çözeltinin mol sayısı olduğundan bu değer aynı zamanda molariteye eşittir. Buradan, 12,06 M'lık stok HCl çözeltisinden, derişimi 1,0 M'lık 2,5 L HCl çözeltisinin nasıl hazırlanacağını hesaplayalım.

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$12,06 \cdot V_1 = 1,0 \cdot 2,5$$

$$V_1 = 0,2073 \text{ L}$$

Buna göre yoğunluğu 1,19 g/mL olan %37'lik HCl çözeltisinden 0,2073 L yani 207,3 mL alınıp hacim su ile 2,5 L'ye tamamlanır.

Çözeltilerin seyreltilmesi kadar deriştirilmesi de önemlidir. Laboratuvar çalışmalarında bazı çözeltilerin daha derişiklerine ihtiyaç duyulabilir. Böyle durumlarda yeni bir çözelti hazırlamak yerine, çözeltiyi istenilen molariteye deriştirerek kullanmak daha tercih edilen bir yoldur. Stok çözeltiden daha derişik çözelti hazırlarken ya molar derişimi daha yüksek bir çözelti kullanılır ya da çözeltide çözücü buharlaştırılır.

$M_1$ stok çözeltinin derişimini, $V_1$ stok çözeltinin hacmini, $M_2$ eklenecek çözeltinin derişimini, $V_2$ eklenecek çözeltinin hacmini, $M_s$ son çözeltinin derişimini ve $V_s$ son çözeltinin hacmini göstermek üzere aşağıdaki gibi formülleştirilebilir:

$$M_1 \cdot V_1 + M_2 \cdot V_2 = M_s \cdot V_s$$

## Örnek 17

**0,3 M'lık 200 mL HCl çözeltisinin derişimini 0,5 M yapabilmek için 1,0 M'lık HCl çözeltisinden kaç mL eklenmelidir?**

## Çözüm 17

$$M_1 \cdot V_1 + M_2 \cdot V_2 = M_s \cdot V_s$$

$$0,3 \cdot 200 + 1,0 \cdot V_2 = 0,5 \cdot (200 + V_2)$$

$$V_2 = 80 \text{ mL}$$

Buna göre 0,3 M'lık 200 mL HCl çözeltisine 1,0 M'lık HCl çözeltisinden 80 mL eklenmelidir.

# 3. Bölüm KOLİGATİF ÖZELLİKLER



## Konular



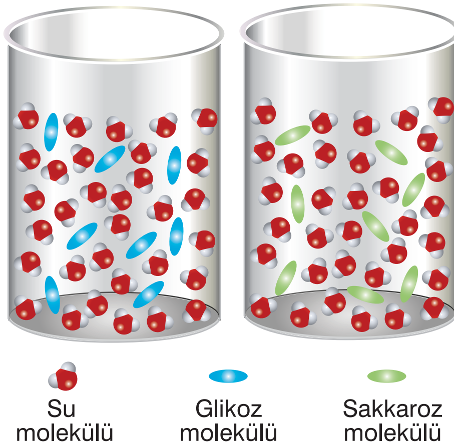
## Bölümde

Çözeltilerin bazı fiziksel özellikleri, bir yönüyle hayatı daha yaşanabilir hâle getirirken bir yönüyle de canlılığın devamını sağlar.

Soğuk iklim bölgelerinde yaşayan kişiler, kışın otomobillerinin soğutma sistemlerindeki (radyatör) suya antifriz eklenmesi gerektiğini bilirler. Antifriz-su karışımı, saf suya göre çok daha düşük sıcaklıkta donduğundan motorun soğutma sistemlerinin zarar görmesini önler.

Canlılığın devamı bazı kimyasal ve biyolojik olaylara bağlıdır. Biyolojik hücre zarları yarı geçirgen zarlardır. Hücre zarları suyun, küçük moleküllerin ve iyonların geçişine izin veren bir yapıdadır. Biyolojik hücrenin madde ihtiyacının karşılanması osmoz sayesinde gerçekleşir. Osmozun gerçekleşmesinin nedeni ise hücrenin içinde ve dışında çözelti derişimlerinin farklı olmasıdır.

Antifriz-su karışımının suyun donma sıcaklığını düşürmesi, biyolojik hücrenin hayati görevlerini yapabilmesi gibi birçok olay koligatif özelliklerle, yani çözeltilerin derişime bağlı özellikleriyle ilgilidir.




***Şekil 3.3.1:*** İki kapta bulunan aynı miktardaki suda, aynı sayılarda birinde glikoz diğerinde sakkaroz tanecikleri çözünmüş olarak bulunuyorsa bu iki çözelti koligatif özellikleri bakımından da aynıdır. Çünkü çözünenin tanecikleri aynı sayıdadır.

## 3.3.1 ÇÖZELTİLERİN KOLİGATİF ÖZELLİKLERİ

Kimyagerler, çözeltilerin fiziksel özelliklerini araştırmaya başladıklarında, nicel bazı özelliklerin çözeltilerde bulunduğunu keşfettiler. Deneyler, çözeltilerin bazı özelliklerinin, çözücünün ve çözünenin bağıl miktarlarına bağlı olduğunu yani tanecik sayılarına bağlı olduğunu, çözünenin kimyasal türünden ise bağımsız olduğunu göstermiştir.

Çözücü ve çözünen taneciklerin sayılarına bağlı olup çözünenin kimyasal türüne bağlı olmayan özelliklere **koligatif özellikler** denir (Şekil 3.3.1). Dört koligatif özellik söz konusudur. Bunlar; buhar basıncı alçalması, donma noktası alçalması (kriyoskopi), kaynama noktası yükselmesi (ebülyoskopi) ve osmotik basınçtır. Şimdi, elektrolit olmayan (iyon içermeyen) veya uçucu olmayan çözeltilerin koligatif özelliklerini inceleyelim.

### Buhar Basıncı Alçalması

Bir sıvının buhar basıncı, moleküllerin sıvının yüzeyinden kolaylıkla uzaklaşabilmelerine bağlıdır. Bir çözünen bir sıvı içerisinde çözündüğü zaman, çözeltinin toplam hacminin bir kısmında çözünen maddenin molekülleri bulunur. Çözücü ve çözünen madde molekülleri arasındaki etkileşim kuvvetlerinin bir sonucu olarak çözelti yüzeyinde çözücü molekülleri daha yavaş buharlaşır. Dolayısıyla çözelti, saf çözücünün buhar basıncından daha düşük bir buhar basıncına sahip olur. Çözeltinin buhar basıncının alçalması koligatif bir özelliktir.

### Unutmayalım



*Deneysel çalışmalar göstermiştir ki bir katının veya uçucu olmayan bir sıvının çözünen olarak bulunduğu bir çözeltide, çözeltinin buhar basıncı, daima saf çözücünün buhar basıncından daha düşüktür.*

1886 yılında François-Marie Raoult (Fransuva-Meri Rault) buhar basıncı ile ilgili çalışmalarında, çözünen maddenin çözücünün buhar basıncını düşürdüğünü keşfetti. Çözeltilerin bu özelliği Raoult Yasası olarak ifade edildi. **Raoult Yasası**'na göre "*Bir çözeltideki çözücünün buhar basıncı ($P_{çözücü}$), saf çözücünün buhar basıncı ($P^{o}_{çözücü}$) ile çözeltideki çözücünün mol kesrinin ($X_{çözücü}$) çarpımına eşittir.*" Raoult Yasası aşağıdaki gibi formülleştirilebilir:

$$P_{çözücü} = X_{çözücü} \cdot P^{o}_{çözücü}$$

### Örnek 18

**100 °C'ta 5 g sakkarozun ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 100 g suda çözünmesiyle oluşan çözeltideki suyun buhar basıncını hesaplayınız**
*(100 °C'ta suyun buhar basıncı $P^{o}_{çözücü}$ = 760 mmHg, H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol).*

**Çözüm 18**

$C_{12}H_{22}O_{11}$ için $M_A = (12 \cdot 12) + (22 \cdot 1) + (11 \cdot 16) = 342$ g/mol

$H_2O$ için $M_A = (2 \cdot 1) + 16 = 18$ g/mol

$n_{C_{12}H_{22}O_{11}} = \frac{5}{342} = 0{,}015 \text{ mol}$ $\qquad n_{H_2O} = \frac{100}{18} = 5{,}55 \text{ mol}$

$$\mathcal{X}_{çözücü} = \mathcal{X}_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{H_2O} + n_{C_{12}H_{22}O_{11}}} = \frac{5{,}55}{5{,}55 + 0{,}015} = 0{,}997$$

$P_{çözücü} = \mathcal{X}_{çözücü} \cdot P^{o}_{çözücü}$

$P_{çözücü} = 0{,}997 \cdot 760 = 758 \text{ mmHg}$

**Alıştırma 7**

**30 °C'ta 218 g glikozun ($C_6H_{12}O_6$) 460 g suda çözünmesiyle oluşan çözeltideki suyun buhar basıncını hesaplayınız** *(30 °C'ta suyun buhar basıncı $P^{o}_{çözücü}$ = 31,82 mmHg, H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol).*

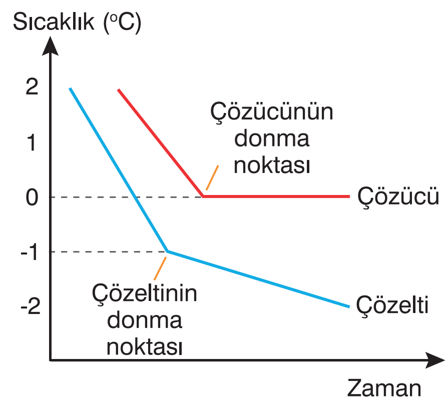
## Donma Noktası Alçalması (Kriyoskopi)

Saf su 1 atm basınçta ve 0 °C sıcaklıkta donar. Saf suya suda çözünen bir madde eklendiğinde, oluşan çözeltinin bazı özellikleri günlük hayatta önemli kolaylıklar sağlar. Örneğin kışın çok soğuk geçtiği yörelerde yollara ve kaldırımlara tuz serpilir (Resim 3.3.1). Otomobillerin radyatörlerindeki soğutma suyuna etilen glikol (antifriz) konulur. Yine, uçakların yüzeylerine propilen glikol püskürtülür. Yapılan tüm bu işlemlerin nedeni nedir? Suya eklenen maddeler suyun fiziksel özelliklerinde nasıl bir değişim meydana getirir?

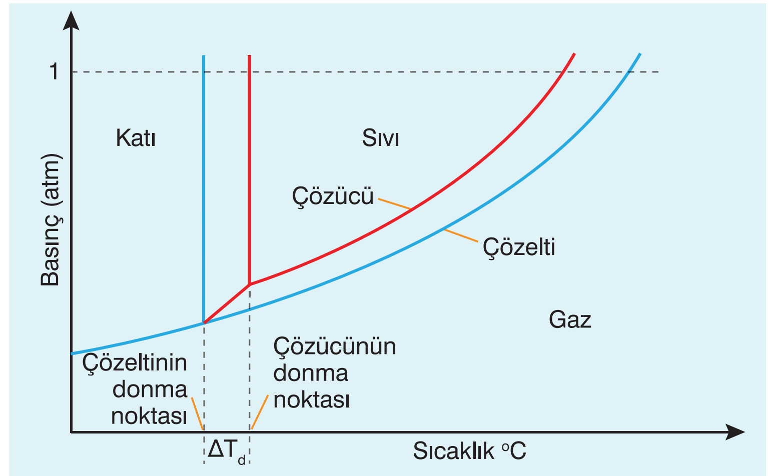
Donma olayında, sıvı molekülleri düzensiz bir konumdan düzenli bir konuma geçer. Bu geçişte dışarıya enerji verilir. Uçucu olmayan bir sıvı çözücüye eklendiğinde, eklenen sıvının molekülleri, çözücü molekülleri arasında dağılır. Çözeltideki moleküller, saf çözücü moleküllerine göre daha düzensiz duruma gelir. Uçucu olmayan sıvının molekülleri, saf çözücü moleküllerinin bir araya gelerek donmasını engellediğinden, çözeltinin donması için dışarıya daha fazla enerji verilmesi gerekir. Çözeltilerin daha fazla enerjiyi dışarı verebilmeleri, daha düşük bir donma sıcaklığı anlamına gelir. Yani donmanın olabilmesi için çözeltinin daha çok soğutulması gerekir. Bu nedenle çözeltilerin donma noktası, saf çözücüye göre daha düşüktür (Grafik 3.3.1 ve s. 132, Grafik 3.3.2).



*Resim 3.3.1:* Kışın yollara tuz serpilerek yolların buzlanması önlenir.




*Grafik 3.3.1:* Çözücünün (su) ve çözeltinin donma noktası




**Grafik 3.3.2:** Çözücü ve çözeltinin buhar basıncı eğrileri

Donma noktası alçalması ($\Delta T_d$), çözücünün donma noktası alçalması sabiti ($K_d$) ile çözeltinin molalitesinin ($m$) çarpımına eşittir. Bu ifade aşağıdaki gibi formülleştirilebilir:

$$\Delta T_d = K_d \cdot m$$

Çözücünün donma noktası alçalması sabiti her bir çözücü için farklıdır ve deneysel olarak belirlenmektedir. Tablo 3.3.1'de bazı çok bilinen çözücüler için "$K_d$" değerleri verilmiştir. İnceleyiniz.

**Tablo 3.3.1:** Bazı çözücülerin donma noktaları ve "$K_d$" değerleri

| Çözücü | Donma noktası (°C) | $K_d$ (°C/$m$) | Çözücü | Donma noktası (°C) | $K_d$ (°C/$m$) |
|---|---|---|---|---|---|
| Su | 0 | 1,86 | Fenol | 43,0 | 7,27 |
| Benzen | 5,5 | 5,12 | Kamfor | 179,8 | 39,70 |
| Etanol | –117,3 | 1,99 | Kloroform | –63,5 | 4,68 |
| Asetik asit | 16,6 | 3,90 | Siklohekzan | 6,5 | 20,10 |
| Aseton | –95,3 | 2,40 | Karbon tetraklorür | –23,0 | 29,80 |

## Örnek 19

**650 g etilen glikolün [$C_2H_4(OH)_2$] 2500 g suda çözünmesiyle oluşan çözeltinin donma noktası alçalmasını hesaplayınız** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol, su için $K_d$ = 1,86 °C/m).*

## Çözüm 19

$[C_2H_4(OH)_2]$ için $M_A = 62$ g/mol

$2500 \text{ g} = 2{,}5 \text{ kg}$

$$n_{[C_2H_4(OH)_2]} = \frac{650}{62} = 10{,}5 \text{ mol}$$

$$\text{Molalite} = \frac{\text{Çözünenin mol sayısı (mol)}}{\text{Çözücünün kütlesi (kg)}} = \frac{10,5}{2,5} = 4,2 \ \text{mol/kg}$$

$\Delta T_d = K_d \cdot m$

$\Delta T_d = 1,86\ °C/m \cdot 4,2\ m$

$\Delta T_d = 7,8\ °C$

Saf suyun donma noktası 0 °C iken 2500 g suya 650 g etilen glikol eklendiğinde donma noktası 7,8 °C düşer. Yani etilen glikol çözeltisi –7,8 °C'ta donar.

## Alıştırma 8

**179,8 °C'taki kamfor içinde hazırlanan 0,05 molal derişimdeki böcek öldürücü malathiyon ($C_{10}H_{19}O_6PS_2$) çözeltisinin donma noktasını hesaplayınız** *(Kamfor için $K_d$ = 39,70 °C/m)*.

### Kaynama Noktası Yükselmesi (Ebülyoskopi)

Bir sıvının kaynama noktası, sıvının buhar basıncının dış basınca eşit olduğu sıcaklıktır. Uçucu olmayan maddelerle hazırlanan çözeltilerde buhar basıncının düşmesi, bu çözeltilerin kaynama noktasını nasıl etkiler? Bu soruya cevap verebilmek için 1. etkinliği yapalım. Etkinliği yaparken de şunu unutmayalım: Laboratuvarlar güvenlik önlemleri bakımından başkalarının dikkatini dağıtıcı hareketlerden kaçınılması, oyun oynanmaması ve şaka yapılmaması gereken yerlerdendir. Bu nedenle kişiler böyle yerlerde çalışırken bu tür davranış eğilimlerini sergilemekten kaçınmalıdır. Kişi, bulunduğu ortamı gözeterek doğru davranışlar sergilemelidir.

## 1. ETKİNLİK — SAF SUYUN VE ÇÖZELTİLERİN KAYNAMA NOKTALARI

**Etkinliğin Amacı:**

Saf suyun ve farklı derişimlerdeki sulu çözeltilerin kaynama noktalarının tayini.






**Araç Gereçler:**

Etanol ($C_2H_5OH$), sakkaroz ($C_{12}H_{22}O_{11}$), beherglas (500 mL), ikili bağlama parçası, bunzen kıskacı, tek delikli lastik tıpa, sacayağı, tel kafes, termometre (360 °C), kaynama taşı, bunzen beki veya ispirto ocağı, destek çubuğu, üçayak, kibrit veya çakmak, saf su



*Resim 3.3.2:* Suyun kaynama noktasının belirlenmesine ait deney düzeneği

**Etkinliğin Yapılışı:**

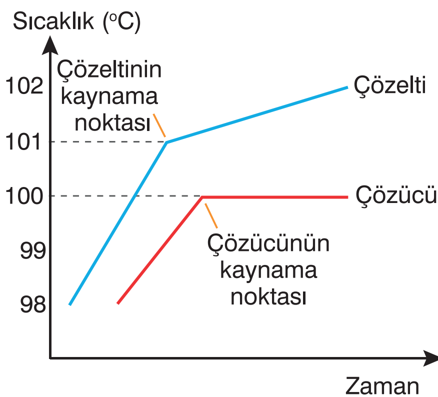
*NOT: Etkinliğe başlamadan önce 2 molallik $C_2H_5OH$ (etanol) ve 4 molallik $C_{12}H_{22}O_{11}$ (çay şekeri, sakkaroz) çözeltileri hazırlanmalıdır.*

- Beherglasın yarısına kadar saf su koyunuz ve içine birkaç tane kaynama taşı atınız.
- Termometreyi tek delikli lastik tıpadan geçiriniz.
- Termometrenin ucu beherglasın tabanına değmeyecek şekilde Resim 3.3.2'deki gibi lastik tıpayı destek çubuğuna bağlama parçasıyla tutturunuz.
- Suyu ısıtarak suyun kaynamaya başladığı sıcaklığı çizelgeye kaydediniz.
- Suyun kaynama noktasının tayinine ilişkin yukarıdaki işlem basamaklarını her bir çözeltinin kaynama noktalarının tayini için tekrarlayınız.

| Madde | Kaynama noktası (°C) |
|---|---|
| Saf su | |
| 2 molallik $C_2H_5OH$ çözeltisi | |
| 4 molallik $C_{12}H_{22}O_{11}$ çözeltisi | |

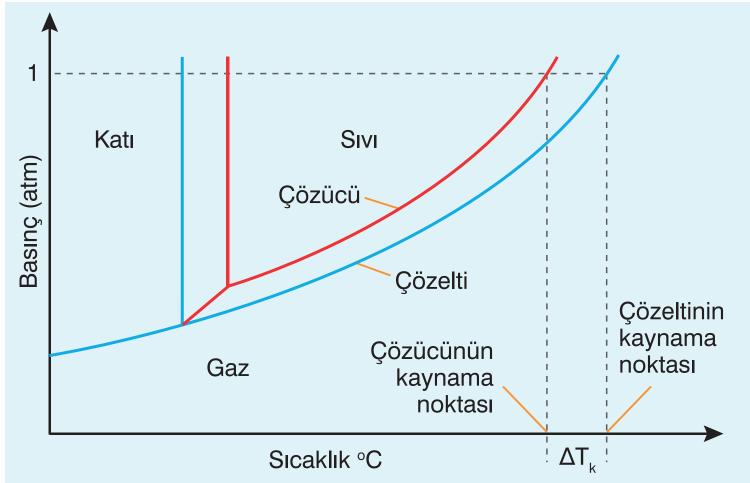
**Etkinlik Sonu Soruları:**

1. Saf suyun ve çözeltilerin kaynama noktaları arasında bir fark var mıdır? Fark varsa nedenini açıklayınız.
2. Derişim birimlerinden biri olan molalite ile çözeltilerin kaynama noktaları arasında nasıl bir ilişki vardır? Açıklayınız.




*Grafik 3.3.3:* Çözücünün (su) ve çözeltinin kaynama noktası

Herhangi bir sıcaklıkta çözeltinin buhar basıncı, saf çözücüden daha düşüktür. Dolayısıyla çözelti saf çözücünün kaynadığı sıcaklıkta kaynamaz. Daha yüksek bir sıcaklıkta kaynar. Çünkü saf çözücüye elektrolit olmayan veya uçucu olmayan bir madde eklendiğinde çözeltinin buhar basıncı düşer. Çözeltinin buhar basıncını aynı sıcaklıkta saf çözücünün buhar basıncına çıkarmak için çözücünün kaynama noktasının üstüne çıkarılması gerekir. Bu nedenle elektrolit olmayan veya uçucu olmayan madde içeren çözeltinin kaynama noktası saf çözücünün kaynama noktasından yüksektir (Grafik 3.3.3 ve s. 135, Grafik 3.3.4).




***Grafik 3.3.4:*** Çözücü ve çözeltinin buhar basıncı eğrileri

Kaynama noktası yükselmesi ($\Delta T_k$), çözücünün kaynama noktası yükselmesi sabiti ($K_k$) ile çözeltinin molalitesinin (*m*) çarpımına eşittir. Bu ifade aşağıdaki gibi formülleştirilebilir:

$$\Delta T_k = K_k \cdot m$$

Çözücünün kaynama noktası yükselmesi sabiti, donma noktası alçalmasında olduğu gibi her bir çözücü için farklıdır ve deneysel olarak belirlenmektedir. Tablo 3.3.3'te bazı çok bilinen çözücüler için "$K_k$" değerleri verilmiştir. İnceleyiniz.

***Tablo 3.3.2:*** Bazı çözücülerin kaynama noktaları ve "$K_k$" değerleri

| Çözücü | Kaynama noktası (°C) | $K_k$ (°C/*m*) | Çözücü | Kaynama noktası (°C) | $K_k$ (°C/*m*) |
|---|---|---|---|---|---|
| Su | 100 | 0,51 | Fenol | 182,0 | 3,56 |
| Benzen | 80,1 | 2,53 | Kamfor | 204,0 | 5,61 |
| Etanol | 78,4 | 1,22 | Kloroform | 61,2 | 3,63 |
| Asetik asit | 117,9 | 3,07 | Siklohekzan | 80,7 | 2,79 |
| Aseton | 56,2 | 1,71 | Karbon tetraklorür | 76,5 | 4,95 |

## Örnek 20

**1,25 *m* sulu sakkaroz çözeltisinin kaynama noktası yükselmesini hesaplayınız** *(Su için $K_k$ = 0,51 °C/m).*

## Çözüm 20

$$\Delta T_k = K_k \cdot m$$

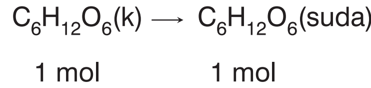
$$\Delta T_k = 0,51\,°C/m \cdot 1,25\,m$$

$$\Delta T_k = 0,64\,°C$$

## Alıştırma 9

**8,9 g sakkaroz ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 34,0 g suda çözülerek bir çözelti hazırlanıyor. Çözeltinin kaynama noktasını hesaplayınız** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol, su için $K_k$ = 0,51 °C/m)*.

Elektrolit olmayan veya uçucu olmayan çözeltilerde çözünen madde moleküler hâlde bulunur ve tek tür tanecik içerir. Etilen glikol, sakkaroz, glikoz gibi maddelerin çözeltilerinde tek tür tanecik bulunur. Örneğin 1 mol glikoz ($C_6H_{12}O_6$) çözeltisindeki glikoz moleküllerinin toplam mol sayısı yine 1'dir.

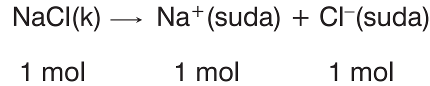


$C_6H_{12}O_6(k) \longrightarrow C_6H_{12}O_6(suda)$

1 mol 1 mol

Elektrolit çözeltilerdeki donma noktası alçalması ve kaynama noktası yükselmesi, elektrolit olmayan veya uçucu olmayan çözeltilerdekinden biraz farklıdır. Bunun nedeni elektrolit çözeltilerde çözünen maddelerin iyonlarına ayrışmasıdır. Elektrolit çözeltilerde her formül biriminde iki veya daha fazla iyon bulunur. Bir elektrolitin suda iyonlarına ayrışma derecesinin ölçüsü çözeltinin **van't Hoff faktörü** (i) dür.

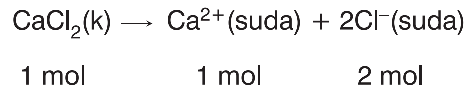
Örneğin 1 mol NaCl çözeltisinde her bir NaCl birimi, 1 mol $Na^+$ iyonu ve 1 mol $Cl^-$ iyonu olmak üzere toplam 2 mol iyon oluşturur. Dolayısıyla van't Hoff faktörü i = 2'dir.



$NaCl(k) \longrightarrow Na^+(suda) + Cl^-(suda)$

1 mol 1 mol 1 mol

1 mol $CaCl_2$ çözeltisinde ise her bir $CaCl_2$ birimi, 1 mol $Ca^{2+}$ iyonu ve 2 mol $Cl^-$ iyonu olmak üzere toplam 3 mol iyon oluşturur. Dolayısıyla van't Hoff faktörü i = 3'tür.



$CaCl_2(k) \longrightarrow Ca^{2+}(suda) + 2Cl^-(suda)$

1 mol 1 mol 2 mol

Bu nedenle elektrolit olmayan veya uçucu olmayan çözeltilere göre elektrolit çözeltilerden NaCl çözeltisi donma noktasını 2 kat düşürür, kaynama noktasını 2 kat yükseltir. Aynı şekilde, $CaCl_2$ çözeltisi donma noktasını 3 kat düşürür, kaynama noktasını 3 kat yükseltir.

Sonuç olarak donma noktası alçalması ve kaynama noktası yükselmesi formülleri elektrolit çözeltiler için van't Hoff faktörü dikkate alınarak aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir:

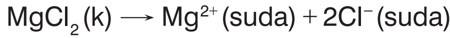
$\Delta T_d = i \cdot K_d \cdot m$ $\Delta T_k = i \cdot K_k \cdot m$

## Örnek 21

**0,145 *m* $MgCl_2$'ün sulu çözeltisinin donma noktasını hesaplayınız** *(Su için $K_d$ = 1,86 °C/m).*

## Çözüm 21

Önce $MgCl_2$ bileşiği için van't Hoff faktörü değerini bulalım.



$MgCl_2(k) \longrightarrow Mg^{2+}(suda) + 2Cl^{-}(suda)$

$MgCl_2$'ün formül birimi başına 3 mol iyon oluştuğundan i = 3'tür. Donma noktası alçalması eşitliğini kullanarak donma noktasını hesaplayalım.

$\Delta T_d = i \cdot K_d \cdot m$

$\Delta T_d = 3 \cdot 1,86\ °C/m \cdot 0,145\ m$

$\Delta T_d = 0,81\ °C$

$MgCl_2$ çözeltisinin donma noktası suyun donma noktasının altında olup –0,81 °C'tur.

## Alıştırma 10

**1 *m*'lik NaCl'ün sulu çözeltisinin kaynama noktasını hesaplayınız** *(Su için $K_k$ = 0,51 °C/m).*

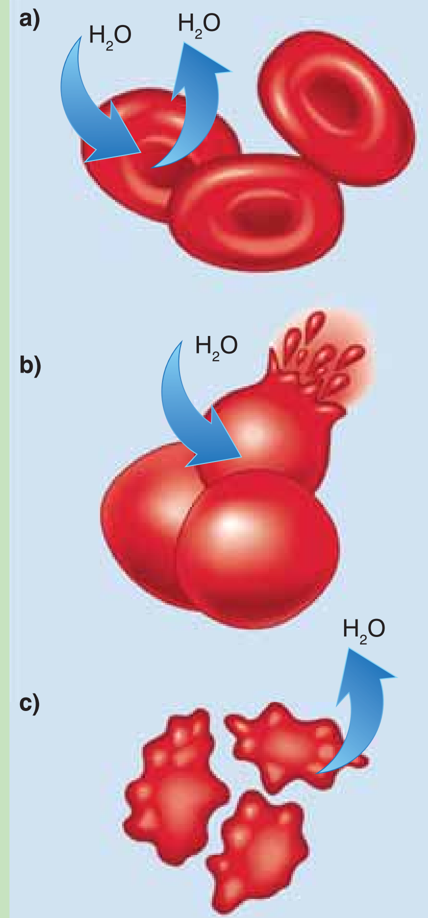
### Osmotik Basınç

Çözücü moleküllerinin bir membran (yarı geçirgen zar) ile seyreltik çözeltiden derişik çözeltiye net geçişine **osmoz** denir. Osmoz olayında, seyreltik çözeltinin yerini saf suyun aldığı durumlar da söz konusudur.

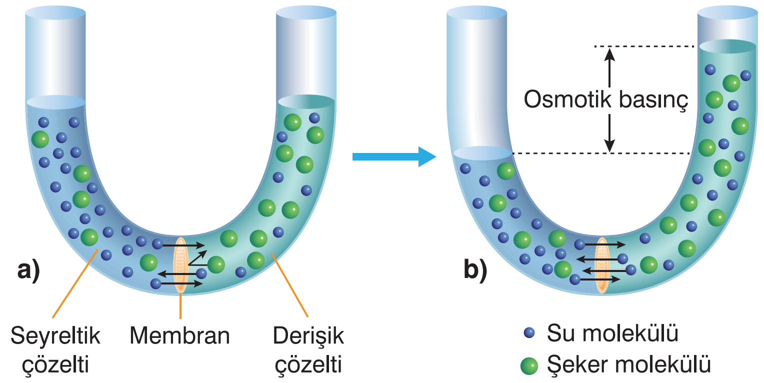
Osmoz olayı, bir "U" borusunun ortasına membran yerleştirilip U borusunun kollarındaki çözelti seviyeleri aynı olacak şekilde membranın sol tarafına seyreltik şeker çözeltisi, sağ tarafına derişik şeker çözeltisi konularak gerçekleştirilebilir (s. 138, Şekil 3.3.2.a). Sol kolda bulunan seyreltik şeker çözeltisindeki su molekülleri, membranın gözeneklerinden derişik şeker çözeltisine geçerken şeker moleküllerinin derişik şeker çözeltisi tarafına geçişi engellenir. Bir süre sonra, su molekülleri membranı geçerek derişik çözeltiye ulaştıkça U borusunun sol kolundaki çözelti seviyesi azalmaya, sağ kolundaki çözelti seviyesi yükselmeye başlar. U borusunun sol ve sağ kollarındaki çözelti seviyeleri arasında osmotik basınca karşılık gelen bir fark oluşur (s. 138, Şekil 3.3.2.b).

## Biliyor musunuz?





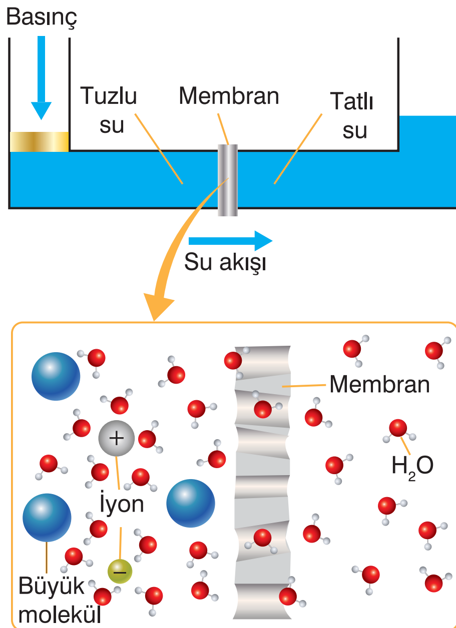

***a)** Kırmızı kan hücreleri görevlerini yerine getirebilmeleri için su girişinin ve çıkışının dengede olduğu belirli bir derişime sahip çözelti içinde olmalıdır. **b)** Hücre dışındaki çözelti seyreltik olduğunda, hücre içine osmoz olayı ile çok fazla su girer ve hücre patlar. **c)** Hücre dışındaki çözelti derişik olduğunda ise hücre osmoz olayı ile su kaybederek büzüşür.*




*Şekil 3.3.2:* Osmoz olayı

Osmozu önlemek için gerekli olan dış basınca **osmotik basınç** denir. Osmotik basınç, membrandan çözücü moleküllerinin geçişini engelleyen bir basınçtır.

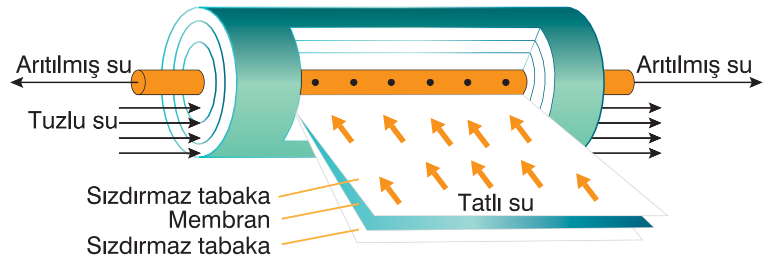
## 3.3.2 TERS OSMOZ




*Şekil 3.3.3:* Ters osmoz yöntemi

Tuzlu deniz suyunun tuzlarından arındırılarak içilebilir ve kullanılabilir su hâline getirilmesinde kullanılan yöntemler arasında en yaygın olanlarından biri de ters osmoz yöntemidir. Ters osmoz yönteminde tuzlu su ile tatlı su bir membran ile birbirinden ayrılmış durumdadır. **Ters osmoz**, membranın tuzlu su tarafına osmotik basınçtan daha fazla bir basınç uygulayarak su moleküllerinin tuzlu sudan tatlı su tarafına doğru membrandan geçişini sağlamaktır (Şekil 3.3.3).

Membran, tuzlu su ile tatlı su arasında bariyer oluşturan, gözenekli, çok ince bir film tabakadır (Şekil 3.3.4, Resim 3.3.2). Gözeneklerin boyutu yaklaşık nanometre (1 nm = $10^{-9}$ m) boyutundadır.




*Şekil 3.3.4:* Tuzlu suyun arıtımında kullanılan membran türlerinden biri de boru biçimli membrandır.



*Resim 3.3.2:* Ters osmoz yöntemi ile saatte 300 $m^3$ içme suyu arıtan bir endüstri kuruluşu

Günümüzde endüstri kuruluşlarında kullanılan membranların teknik açıdan geliştirilmelerine devam edilmektedir. Bu konudaki teknolojik yarış, yüksek basınca dayanıklı ve gözenekleri kolaylıkla tıkanmayan membranların üzerinedir. Tuzlu suyun arıtımında teknik ölçülere göre en çok kullanılan membranlar yaklaşık 70 atm basınca dayanabilen selüloz asetat ve poliamid gibi membranlardır.

# 4. Bölüm

## ÇÖZÜNÜRLÜK



### Konular



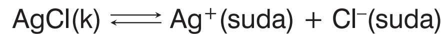
### Bölümde

Sıvı çözeltilerin özelliklerinin belirlenmesi 19. yüzyılın bilimsel çalışmalarının bir ürünüdür. Sıvı çözeltilerle ilgili olarak ideal çözeltiler, seyreltik çözeltiler ve iyonlaşma üzerine yapılan bu üç çalışma hemen hemen aynı döneme rastlamaktadır.

Bazı bileşen çiftleri birbirleriyle her oranda karışarak sıvı çözeltileri oluşturabilir. Örneğin etanol ve su, birbirleriyle her oranda karışarak sıvı çözeltiyi oluşturur. Bununla birlikte çoğu maddelerin verilen bir çözücüde belirli şartlar altında çözünmeleri sınırlıdır. Örneğin bir miktar suya azar azar sodyum klorür tuzu katıp karıştırıldığında tuzun suda çözündüğü görülür. Çözme işlemine devam edildiğinde öyle bir an gelir ki ne kadar sodyum klorür eklenirse eklensin artık suda çözünmez duruma gelir. Sodyum klorür tuzunun suda çözünmesi gibi belirli şartlardaki bir maddenin bir çözücüde çözünebilmesinin de bir sınırı vardır.

## 3.4.1 ÇÖZELTİLERİN SINIFLANDIRILMASI

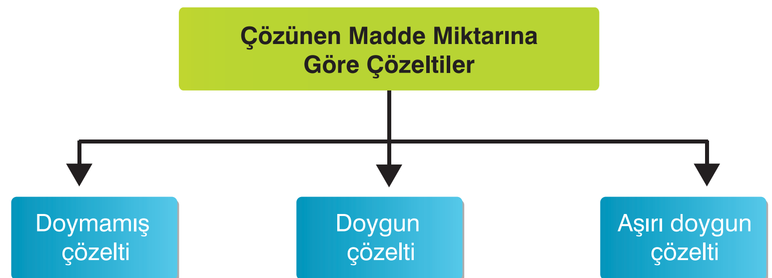
Bir maddenin bir çözücü içerisinde çözünmesi olayı bir denge sürecidir. Moleküler bakış açısıyla, gümüş klorür gibi katı bir maddenin su gibi bir çözücü içerisinde çözündüğünü düşünelim. İlk olarak su molekülleri gümüş klorür katısındaki gümüş ve klorür iyonlarının çevresini sarar. Bir miktar çözünme nedeniyle su içerisinde katı gümüş klorürün miktarı azalır. Bir süre sonra çözünen gümüş ve klorür iyonu katı gümüş klorür olarak tekrar çökelmeye başlar. İlk başlarda çözünme hızı çökelme hızından yüksektir. Fakat çözünen gümüş klorür derişimi artarken aynı zamanda çökelme hızı da artar. En sonunda çözünme ve çökelme hızları birbirine eşit olur ve dinamik dengeye ulaşılır (bk. s. 215 “tersinir tepkimeler” kavramı) (Şekil 3.4.1). Bu denge durumu aşağıdaki gibi gösterilir:



$$AgCl(k) \rightleftharpoons Ag^{+}(suda) + Cl^{-}(suda)$$

***Şekil 3.4.1:*** Okların yönü ve sayısı çözünme (↑) ve çökelme (↓) hızlarını göstermektedir. **a)** Başlangıçta gümüş klorür katısının suda çözünme hızı çökelme hızından yüksektir. **b)** Dinamik denge sağlandığında gümüş klorürün çözünme hızı çökelme hızına eşit olur.

Gümüş klorür katısının suda çözünmesinde olduğu gibi çözeltiler doygunluğuna göre diğer bir ifadeyle çözünmüş madde miktarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır:




Belirli şartlarda, belirli bir miktar çözücüde çözünebilenden daha az çözünen madde içeren çözeltiye **doymamış çözelti** denir. Örneğin 20 °C’ta 100 g suda en fazla 36 g NaCl çözünebilir. Bu sıcaklıkta, 100 g suda 36 g’dan daha az NaCl’ün çözünmesiyle elde edilen çözelti doymamış çözeltidir.

Belirli şartlarda, belirli bir miktar çözücüde çözünebilen kadar çözünen madde içeren çözeltiye **doygun çözelti** denir. Örneğin 20 °C’ta 100 g suda 36 g NaCl çözünmesiyle elde edilen çözelti doygun çözeltidir.

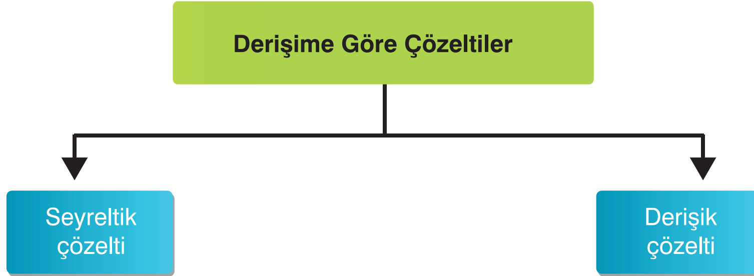
Belirli şartlarda, belirli bir miktar çözücüde çözünebilenden daha fazla çözünen madde içeren çözeltiye **aşırı doygun çözelti** denir. Örneğin 20 °C’ta 100 g suda 36 g’dan daha fazla NaCl çözünmesiyle elde edilen çözelti aşırı doygun çözeltidir.

### Bilgi Notu

*Aşırı doygun çözeltiler kararsızdır. Bu tür çözeltilere çok az miktarda çözünen eklenirse veya hafifçe çalkalanırsa fazladan çözünen kısım kristalleşir ve geriye doygun bir çözelti kalır. Örneğin aşırı doygun sodyum asetat ($CH_3COONa$) çözeltisine küçük bir sodyum asetat kristali eklendiğinde, hızlı bir şekilde sodyum asetat kristalleri oluşur.*



Çözeltiler, doygunluğuna göre sınıflandırılmasının dışında derişime göre diğer bir ifadeyle çözeltide çözünmüş olarak bulunan madde miktarının azlığına veya çokluğuna göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır:




Derişimi düşük olan çözeltiye **seyreltik çözelti**, derişimi yüksek olan çözeltiye de **derişik çözelti** denir. Çözeltileri, doygunluğuna göre sınıflandırmanın aksine, seyreltik veya derişik olarak sınıflandırmanın çözünen maddenin derişimi bakımından kesin bir sınırı yoktur. Bu sınıflandırma nitel bir sınıflandırmadır. Örneğin seyreltik denilen çözeltiye az miktarda çözünen eklendiğinde elde edilen yeni çözelti öncekine göre derişik olur. Derişik denilen çözeltiye de az miktarda çözünen eklendiğinde elde edilecek yeni çözeltiye göre önceki çözelti seyreltik olur (Resim 3.4.1).




*Resim 3.4.1:* **a)** 0,1 M'lık $CuSO_4$ çözeltisi **b)** 1,0 M'lık $CuSO_4$ çözeltisi. a'daki çözelti b'dekine göre seyreltiktir. b'deki çözelti de a'dakine göre derişiktir.

## 3.4.2 ÇÖZÜNÜRLÜK

Herhangi bir katı madde bir çözücüye eklenip karıştırıldığında madde çözücüde homojen olarak dağılmışsa "çözündü", heterojen olarak dağılmışsa "az çözündü" veya "çözünmedi" şeklinde ifade edilir. Örneğin belirli sıcaklıktaki bir miktar suya azar azar şeker eklenip karıştırıldığında şeker suda çözünür. Şeker eklemeye bir süre daha devam edildiğinde şeker önce az çözünür fakat öyle bir an gelir ki şeker suda artık çözünmez olur.

Şekerin suda çözünmesinde olduğu gibi herhangi bir madde belirli şartlarda belirli bir miktar çözücüde çözünüyorsa o maddenin o çözücüde çözünebileceği belirli bir miktarı vardır. Bu durum, çözünen o maddenin çözünürlüğü ile ilgilidir.

Belirli bir sıcaklıkta ve basınçta, belirli bir miktar çözücüde en fazla çözünebilen madde miktarına **çözünürlük** denir. Diğer bir ifadeyle çözünürlük, çözünenin doygun çözeltideki derişimidir. Çözünürlük denildiğinde, çoğunlukla bir katının suda çözünürlüğü anlaşılır. Çözücü su olduğunda çözünürlüğün birimi g/100 g su'dur. NaCl'ün 20 °C'ta çözünürlüğü 36 g/100 g su olarak ifade edildiğinde, bunun anlamı şudur: 20 °C'ta 100 g suda en fazla 36 g NaCl çözünüyor demektir. Yani 100 g suyu, 36 g NaCl'ün doygun hâle getirdiği anlaşılır. Şimdi, çözünürlükle ilgili hesaplamalar yapalım.

**Bilgi Notu**

*Oda sıcaklığında suyun yoğunluğu 1 g/mL'dir. Yani 1 mL su 1 g'dır. Bu nedenle 100 g su yerine 100 mL su alınabildiğinden bazı kimya kaynaklarında çözcüsü su olan maddelerin çözünürlüğü g/100 mL su olarak verilir.*

## Örnek 22

**30 °C'ta 250 g suda 240 g $NaNO_3$ çözerek hazırlanan doygun çözeltinin aynı sıcaklıktaki çözünürlüğünü hesaplayınız.**

## Çözüm 22

250 g suda — 240 g $NaNO_3$ çözünürse

100 g suda — x

$$x = \frac{100 \cdot 240}{250} = 96 \text{ g } NaNO_3$$

30 °C'ta $NaNO_3$'ın çözünürlüğü 96 g/100 g su'dur.

## Örnek 23

**20 °C'ta 400 g su ile KCl'ün doygun çözeltisini hazırlamak için kaç gram KCl gerekir** *(20 °C'ta KCl'ün çözünürlüğü 34 g/100 g su)?*

## Çözüm 23

100 g suda — 34 g KCl çözünürse

400 g suda — x

$$x = \frac{400 \cdot 34}{100} = 136 \text{ g KCl}$$

400 g su, 136 g KCl ile doygun hâle gelir.

## Örnek 24

**40 °C'ta 96 g $KNO_3$'ın doygun çözeltisini hazırlamak için kaç gram su gereklidir** *(40 °C'ta $KNO_3$'ın çözünürlüğü 64 g/100 g su)?*

## Çözüm 24

100 g suda — 64 g $KNO_3$ çözünürse

x — 96 g $KNO_3$

$$x = \frac{100 \cdot 96}{64} = 150 \text{ g } KNO_3$$

96 g $KNO_3$'ın doygun çözeltisini hazırlamak için 150 g su gerekir.

**Örnek 25**

**30 °C'ta 210 g KBr'ün 350 g suda çözünmesiyle hazırlanan çözeltiyi doygun hâle getirmek için aynı sıcaklıkta kaç gram su buharlaştırılmalıdır** *(30 °C'ta KBr'ün çözünürlüğü 70 g/100 g su)?*

**Çözüm 25**

100 g suda — 70 g KBr çözünürse

x — 210 g KBr

$$x = \frac{100 \cdot 210}{70} = 300 \text{ g su}$$

210 g KBr'ün doygun çözeltisi için 300 g su gerekir. Çözeltinin hazırlanmasında 350 g su kullanıldığına göre buharlaştırılacak suyun miktarı;

$m_{su} = 350 - 300 = 50$ g'dır.

**Örnek 26**

**10 °C'ta 68 g $NH_4Cl$'ün 250 g suda çözünmesiyle hazırlanan çözeltiyi doygun hâle getirmek için aynı sıcaklıkta kaç gram $NH_4Cl$ eklenmelidir** *(10 °C'ta $NH_4Cl$'ün çözünürlüğü 34 g/100 g su)?*

**Çözüm 26**

100 g suda — 34 g $NH_4Cl$ çözünürse

250 g suda — x

$$x = \frac{250 \cdot 34}{100} = 85 \text{ g } NH_4Cl$$

250 g suda $NH_4Cl$'ün doygun çözeltisi için 85 g $NH_4Cl$ gerekir. Oysa 250 g suda 68 g $NH_4Cl$ çözünmüştür. Aynı sıcaklıkta $NH_4Cl$'ün doygun çözeltisi için gerekli olan $NH_4Cl$ miktarı;

$m_{NH_4Cl} = 85 - 68 = 17$ g'dır.

**Alıştırma 11**

1. **20 °C'ta $NaClO_3$'ın 588 g doygun çözeltisi hazırlanıyor. Doygun çözeltideki suyun miktarı 300 g olduğuna göre aynı sıcaklıktaki $NaClO_3$'ın çözünürlüğünü hesaplayınız.**
2. **0 °C'ta NaBr'ün 450 g doygun çözeltisi hazırlanıyor. Çözeltideki NaBr'ün ve suyun kütlesini hesaplayınız** *(0 °C'ta NaBr'ün çözünürlüğü 80 g/100 g su).*

# 5. Bölüm

# ÇÖZÜNÜRLÜĞE ETKİ EDEN FAKTÖRLER



## Konular



## Bölümde

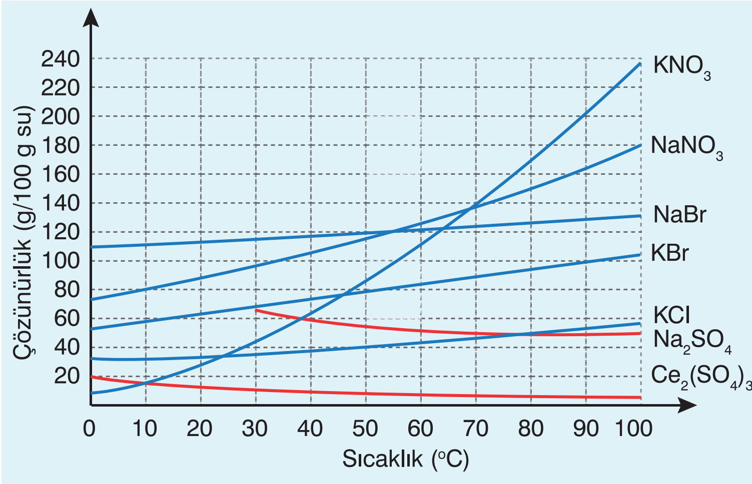
Suya dalan dalgıçlar, su altında gerektiğinde yanlarında taşıdıkları hava tüpündeki basınçlı havayı solurken denizde derinlere indikçe her 10 m'de 1 atm artan basınçla da karşı karşıya kalırlar. Dalgıçlar yüzeye hızla dönmeye çalıştıklarında adına vurgun denilen ve sağlıklarını tehlikeye düşürecek olayla karşı karşıya kalırlar. Bu tehlikeli durumdan kurtulmanın bir yolu, su altından su yüzeyine çok yavaş çıkmak, su yüzeyine çıkarken belirli basınçlarda belirli süreler geçirmek ya da su yüzeyine çıktıktan sonra basınç odasında bir süre kalmaktır. Diğer bir yolu ise hava tüplerine hava yerine helyum-oksijen gazları karışımı doldurmaktır. Dalgıçlarda vurgun olayı nasıl gerçekleşir?

## 3.5.1 SICAKLIĞIN ÇÖZÜNÜRLÜĞE ETKİSİ

Sıcaklık birçok maddenin çözünürlüğünü etkiler. Bu konuda, tuzların ve gazların çözünürlüğüne sıcaklığın etkisi irdelenecektir.

### Tuzların Çözünürlüğüne Sıcaklığın Etkisi

Tuzların birçoğunun sıcak sudaki çözünürlüğü, soğuk sudaki çözünürlüğünden farklıdır. Grafik 3.5.1'de bazı tuzların sudaki çözünürlüğüne sıcaklığın etkisini gösteren eğriler verilmiştir. İnceleyiniz.




*Grafik 3.5.1:* Bazı tuzların sudaki çözünürlüklerinin sıcaklıkla değişimi

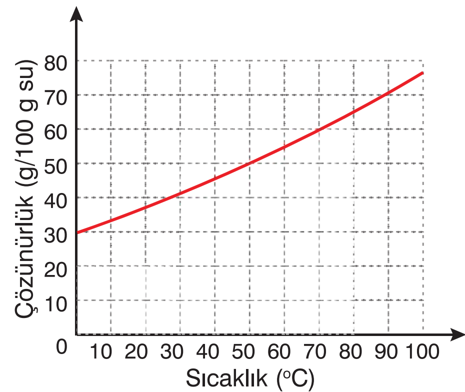
Yandaki grafikte verilen bazı tuzların sıcaklığa bağlı çözünürlük eğrilerini yorumlayınız.

..............................................................
..............................................................
..............................................................
..............................................................
..............................................................
..............................................................
..............................................................

Grafik 3.5.1'den de anlaşılacağı gibi tuzların sudaki çözünürlüğü genellikle sıcaklık arttıkça artar. Örneğin $KNO_3$ ve $NaNO_3$'ın çözünürlüğü sıcaklık ile hızlı bir şekilde artmaktadır. NaBr'ün çözünürlüğü sıcaklık ile artmakla birlikte, çözünürlük çok az değişmektedir. Çözünürlüğün sıcaklıkla artışına ilişkin genelleme bazı tuzlar için geçerli değildir. $SO_4^{2-}$, $PO_4^{3-}$ gibi anyonları içeren bazı iyonik bileşikler bu genellemeye uymaz. Örneğin Grafik 3.5.1'de iyonik $Ce_2(SO_4)_3$'ın çözünürlüğü sıcaklık artışı ile birlikte azalmaktadır. Benzer şekilde $Na_2SO_4$'ın çözünürlüğü de 30 °C'tan sonra sıcaklık artışı ile azalmaktadır.

**Örnek 27**

Yanda, $NH_4Cl$ tuzunun sudaki çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi grafiği verilmiştir. Grafiğe göre verilen soruları cevaplayınız.




**a) 0 °C'ta 250 g su kullanılarak hazırlanan doygun $NH_4Cl$ çözeltisinin sıcaklığı 50 °C'a çıkarılıyor. Bu sıcaklıkta çözeltiyi doygun hâle getirmek için çözeltiye kaç gram $NH_4Cl$ eklenmelidir?**

**b) 70 °C'ta 200 g su kullanılarak hazırlanan doygun $NH_4Cl$ çözeltisinin sıcaklığı 50 °C'a kadar soğutulursa kaç gram $NH_4Cl$ çöker?**

## Uyarı



*Tuzların farklı sıcaklıklardaki çözünürlüklerinden yararlanarak derişme ve çökelme ile ilgili hesaplamalar yapılırken sıcaklık değerleri, bazen yanlışlıkla orantı işlemlerinde kullanılabilmektedir. Oysa farklı sıcaklıklar, gerekli hesaplamalar için iyonik katıların çözünürlük değerlerinin belirlenmesinde kullanılır.*

## Çözüm 27

**a)** 0 °C'ta; 100 g suda 30 g $NH_4Cl$ çözünürse
250 g suda x

$$x = \frac{250 \cdot 30}{100} = 75\ g\ NH_4Cl$$

50 °C'ta; 100 g suda 50 g $NH_4Cl$ çözünürse
250 g suda x

$$x = \frac{250 \cdot 50}{100} = 125\ g\ NH_4Cl$$

$m_{NH_4Cl} = 125 - 75 = 50$ g $NH_4Cl$ eklenmelidir.

**b)** 70 °C'ta; 100 g suda 60 g $NH_4Cl$ çözünürse
200 g suda x

$$x = \frac{200 \cdot 60}{100} = 120\ g\ NH_4Cl$$

50 °C'ta; 100 g suda 50 g $NH_4Cl$ çözünürse
200 g suda x

$$x = \frac{200 \cdot 50}{100} = 100\ g\ NH_4Cl$$

$m_{NH_4Cl} = 120 - 100 = 20$ g $NH_4Cl$ çöker.

## Örnek 28

**20 °C'ta 198 g doygun $KNO_3$ çözeltisini 50 °C'ta doygun hâle getirmek için kaç gram $KNO_3$ eklenmelidir** *($KNO_3$'ın çözünürlüğü 20 °C'ta 32 g/100 g su, 50 °C'ta 86 g/100 g su)?*

## Çözüm 28

20 °C'ta; $m_{çözelti} = 32 + 100 = 132$ g $KNO_3$ çözeltisi

20 °C'ta; 132 g $KNO_3$ çözeltisinde 32 g $KNO_3$ varsa
198 g $KNO_3$ çözeltisinde x

$$x = \frac{198 \cdot 32}{132} = 48\ g\ KNO_3$$

$m_{su} = 198 - 48 = 150\ g\ su$

50 °C'ta; 100 g suda 86 g $KNO_3$ çözünürse

150 g suda x

$$x = \frac{150 \cdot 86}{100} = 129\ g\ KNO_3$$

$m_{KNO_3} = 129 - 48 = 81\ g\ KNO_3$ eklenmelidir.

## Örnek 29

**30 °C'ta 392 g doygun $NaNO_3$ çözeltisi 10 °C'a kadar soğutulursa kaç gram $NaNO_3$ çöker** *($NaNO_3$'ın çözünürlüğü 30 °C'ta 96 g/100 g su, 10 °C'ta 80 g/100 g su)?*

## Çözüm 29

30 °C'ta; $m_{çözelti} = 96 + 100 = 196$ g $NaNO_3$ çözeltisi

30 °C'ta; 196 g $NaNO_3$ çözeltisinde 96 g $NaNO_3$ varsa

392 g $NaNO_3$ çözeltisinde x

$$x = \frac{392 \cdot 96}{196} = 192\ g\ NaNO_3$$

$m_{su} = 392 - 192 = 200$ g su

10 °C'ta; 100 g suda 80 g $NaNO_3$ çözünürse

200 g suda x

$$x = \frac{200 \cdot 80}{100} = 160\ g\ NaNO_3$$

$m_{NaNO_3} = 192 - 160 = 32\ g\ NaNO_3$ çöker.

## Alıştırma 12

1. **10 °C'ta 400 g su kullanılarak hazırlanan doygun KBr çözeltisinin sıcaklığı 40 °C'a çıkarılıyor. Bu sıcaklıkta çözeltiyi doygun hâle getirmek için çözeltiye kaç gram KBr eklenmelidir** *(KBr'ün çözünürlüğü 10 °C'ta 60 g/100 g su, 40 °C'ta 75 g/100 g su)?*

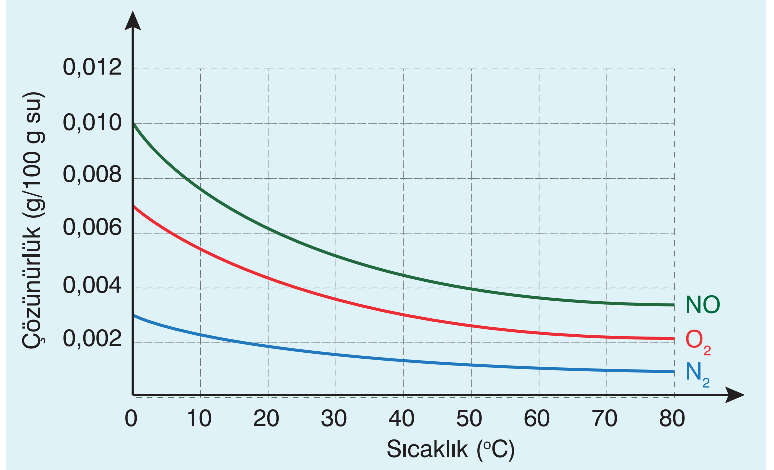
2. **60 °C'ta 150 g su ile hazırlanan doygun $NaIO_3$ çözeltisi 40 °C'a kadar soğutulursa kaç gram $NaIO_3$ çöker** *($NaIO_3$'ın çözünürlüğü 60 °C'ta 20 g/100 g su, 40 °C'ta 14 g/100 g su)?*

### Gazların Çözünürlüğüne Sıcaklığın Etkisi

Bir behere soğuk su doldurulup ısıtılmaya başlandığında, bir süre sonra suyun içinden hava kabarcıklarının çıktığı görülür. Bunun nedeni suyun sıcaklığının artması ile birlikte, suda çözünmüş olan gazların çözünürlüğü azaldığından suyu terk etmeye başlamasıdır. Benzer şekilde buzdolabından çıkarılıp oda sıcaklığına bırakılan gazlı içeceklerin çıkardığı kabarcıklar çözünürlükteki azalmanın bir sonucudur. Grafik 3.5.2'de bazı gazların sudaki çözünürlüğünün sıcaklıkla değişimi verilmiştir. İnceleyiniz.

Yandaki grafikte verilen bazı gazların sıcaklığa bağlı çözünürlük eğrilerini yorumlayınız.

..................................................
..................................................
..................................................
..................................................
..................................................
..................................................
..................................................




*Grafik 3.5.2:* Bazı gazların sudaki çözünürlüklerinin sıcaklıkla değişimi

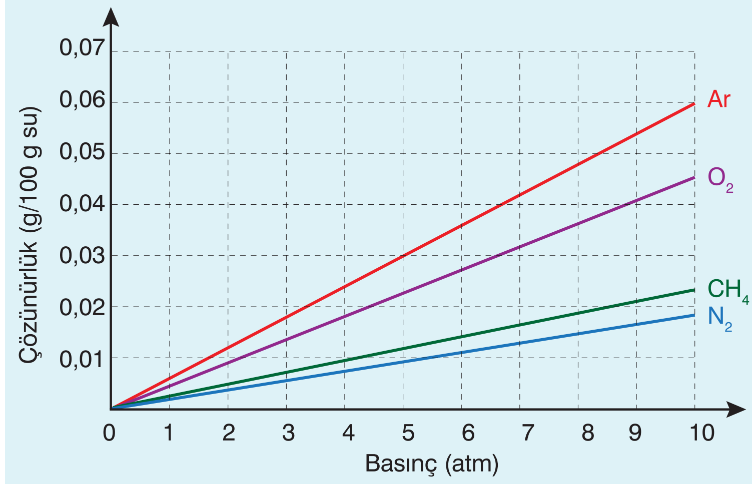
Grafik 3.5.2'den de anlaşılacağı gibi gazların sudaki çözünürlüğü sıcaklık arttıkça azalır. Sıcaklığa bağlı olarak gazların sudaki çözünürlüğünün bu özelliği denizlerin, nehirlerin ve göllerin derin yerlerinde balıklar için önemli yaşam alanı oluşturur. Çünkü suların derin yerlerinde sıcaklık düşük olduğundan oksijen gazının çözünürlüğü daha fazladır. Gazların çözünürlüğüne sıcaklığın etkisinin bir sonucu olarak asitli içeceklerin üzerinde soğuk içilmesi tavsiye edilir. Bunun nedeni karbon dioksit gazının soğuk içecekte daha fazla çözünmesidir. Isıtılan suda kaynama anında kabarcıklar gözlenmesinin nedeni ise suda çözünmüş olan havanın sıcaklık artışı ile birlikte çözünürlüğünün azalması ve kabarcıklar oluşturarak sudan ayrılmasıdır.

## 3.5.2 BASINCIN ÇÖZÜNÜRLÜĞE ETKİSİ

Günlük hayatta birçok insan gazlı soğuk içecekler tüketir. Bu içeceklerin kapağı açıldığında kabarcıklar hâlinde gaz çıkışının olduğu ve bu gaz çıkışının bir süre sonra durduğu görülür. Bu tür içeceklerde neden gaz çıkışı olur?

Basınç, katıların ve sıvıların çözünürlüğünü önemli ölçüde etkilemezken gazların çözünürlüğünü oldukça fazla etkiler.

Grafik 3.5.3'te bazı gazların sudaki çözünürlüklerinin basınçla değişimi verilmiştir. İnceleyiniz.




*Grafik 3.5.3:* Bazı gazların sudaki çözünürlüklerinin basınçla değişimi

Yandaki grafikte verilen bazı gazların basınca bağlı çözünürlük eğrilerini yorumlayınız.

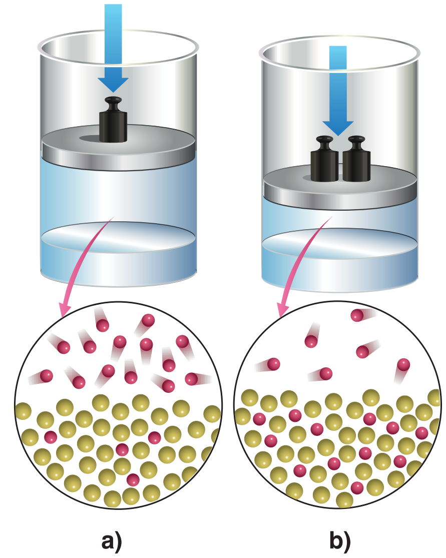
..........................................................
..........................................................
..........................................................
..........................................................
..........................................................
..........................................................
..........................................................

Grafik 3.5.3'ten de anlaşılacağı gibi gazların sudaki çözünürlüğü basınç arttıkça artar. Bir gazın belirli sıcaklıkta Şekil 3.5.1.a'daki gibi doygun çözeltisi ile dinamik dengede bulunduğunu kabul edelim. Gazın basıncı Şekil 3.5.1.b'deki gibi artırıldığında sıvı yüzeyi ile etkileşen gaz molekülleri sayısı denge durumuna göre artar. Bu durumda basınç etkisiyle çözünerek çözelti fazına geçen gaz moleküllerinin sayısı da artar.

Gazlı içeceklerin kapağı kapatılmadan önce bu içeceklerin içine yüksek basınçta $CO_2$ gazı gönderilir. Bu durumda içecekte çözünen $CO_2$ gazının miktarı, dış basınçta çözünen $CO_2$ gazının miktarından daha fazladır. İçeceklerin kapağı açıldığında, kap içindeki yüksek basınç dış basınca eşit oluncaya kadar, yüksek basıncın etkisiyle çözünmüş olan $CO_2$ gazının bir kısmı kabarcıklar oluşturarak içecekten uzaklaşır. İçecekte dış basıncın etkisiyle çözünecek kadar $CO_2$ gazı kalır.

Gazların çözünürlüğüne bir başka örnek, denizlere dalmada karşılaşılan durumdur. Dalgıçlar, deniz altında havayı soluyabilmeleri için yanlarında hava tüpü taşımak zorundadırlar. Dalgıçlar deniz altında yüksek basınçtaki havayı soluduklarında, hava, dalgıçların kan ve vücut sıvılarında normal basınçtakine göre daha fazla çözünür. Dalgıçlar hızla yüzeye dönmeye çalışırken basınç azalır ve çözünmüş fazla $N_2$ gazı kabarcıklar oluşturarak çözeltiden uzaklaşır. Bu kabarcıklar, vurgun denilen eklem ve damarlarda şiddetli ağrılara neden olur. Hatta felce veya ölüme neden olabilir.

Çözünürlüğün sıcaklık ve basınçla ilişkisinde verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ve elde edilecek yeni verilerin yorumlanması, aynı zamanda bilgi iletişim teknolojilerinin güvenli bir şekilde kullanılmasına ve temel becerilerin desteklenmesine imkân sağlar.




*Şekil 3.5.1:* Çözelti (sarı ve kırmızı tanecikli) üzerindeki bir gazın (kırmızı tanecikli) basıncının artırılması, çözeltide çözünmüş olarak bulunan gazın miktarını etkiler.




Çözünürlüğün sıcaklık ve basınçla ilişkisi **sayfa 274'deki** gibi elektronik tablolama programı kullanılarak kurgulanmalı, değerler değiştirilerek gerçekleşen değişiklikler gözlemlenmeli ve yorumlanmalıdır.

# 3. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

## A. *Aşağıdaki metinde numaralandırılmış boşlukları kutuda verilen kelimelerden uygun olanları ile tamamlayınız.*

**aşırı doymuş,** gazların, **molarite,** artarken, **derişik,** koligatif, **polar,** azalır, **osmotik basınçtır,** doygunluğuna

Çözeltilerin oluşumunda genellikle ............................ (1) maddeler polar çözücülerde, apolar maddeler apolar çözücülerde iyi çözünür. Çözeltilerde miktar belirtilirken derişim birimleri kullanılır. Bunlar; ............................ (2), molalite, kütlece yüzde, hacimce yüzde, mol kesri ve ppm gibi birimlerdir.

Çözeltiler, çözücü ve çözünen taneciklerin sayılarına bağlı olup çözünenin kimyasal türüne bağlı olmayan ............................ (3) özelliklere sahiptir. Bu özellikler, buhar basıncı alçalması, donma noktası alçalması, kaynama noktası yükselmesi ve ............................ (4). Çözeltide bulunan çözünenin derişimine bağlı olarak çözeltinin buhar basıncı ve donma noktası saf çözücününkine göre daha düşük, kaynama noktası ise daha yüksektir.

Çözeltileri çözünürlük kavramı temelinde iki şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bunlardan biri ............................ (5) (çözünmüş madde miktarına), diğeri de derişime (çözeltide çözünmüş olarak bulunan madde miktarının azlığına veya çokluğuna) göre sınıflandırmaktır. Doygunluğuna göre çözeltiler doymamış, doygun ve ............................ (6) olarak sınıflandırılırken derişime göre çözeltiler seyreltik ve ............................ (7) olarak sınıflandırılır.

Belirli şartlarda belirli bir miktar çözücüde ancak belirli miktarda madde çözünebilir. Bu durum, maddenin çözünürlüğü ile ilgilidir. Çözünürlük, belirli bir sıcaklıkta ve basınçta, belirli bir miktar çözücüde en fazla çözünebilen madde miktarıdır. Tuzların çözünürlüğü genellikle sıcaklık artışı ile ............................ (8) gazların çözünürlüğü genellikle sıcaklık artışı ile ............................ (9). Katıların ve sıvıların çözünürlüğü basınç değişimi ile önemli ölçüde değişmezken ............................ (10) çözünürlüğü basınç artışı ile artar.

## B. *Aşağıda verilen ifadeleri okuyunuz. İfadeler doğru ise "D", yanlış ise "Y" harfini işaretleyiniz.*

Ⓓ Ⓨ **1.** Çözünme olayı "Benzer benzeri çözer." ilkesine göre gerçekleşir.

Ⓓ Ⓨ **2.** Molar derişimde çözelti hazırlarken önce çözünen maddeyi az bir çözücüde çözüp sonra istenilen hacme kadar çözücü eklenmelidir.

Ⓓ Ⓨ **3.** Bir çözeltinin buhar basıncı daima saf çözücünün buhar basıncından yüksektir.

Ⓓ Ⓨ **4.** Kaynama noktası yükselmesi, çözücünün kaynama noktası yükselmesi sabiti ile çözeltinin molaritesinin çarpımına eşittir.

Ⓓ Ⓨ **5.** Gazların sudaki çözünürlüğü sıcaklık arttıkça azalır.

Ⓓ Ⓨ **6.** Sodyum klorür tuzu karbon tetraklorür sıvısında kolaylıkla çözünür.

Ⓓ Ⓨ **7.** Bir maddenin bir çözücü içerisinde çözünmesi olayı bir denge sürecidir.

Ⓓ Ⓨ **8.** Gazlı içeceklerin kapağı açıldığında karbon dioksit gazının açığa çıkmasının nedeni basıncın artmasıdır.

## C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. $C_2H_5OH$ ve $H_2O$ birbiri içinde çözünerek çözelti oluşturur. Bu çözelti oluşumunu kimyasal türler arası etkileşim temelinde ele alarak açıklayınız.
2. 1,5 M'lık 400 mL NaOH çözeltisi hazırlamak için kaç gram NaOH gerekir *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol, Na: 23 g/mol)?*
3. Kütlece %7'lik 200 g KOH çözeltisindeki KOH'in mol kesri nedir *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol, K: 39 g/mol)?*
4. Kütlece %25'lik 960 g $NH_3$ çözeltisi kaç molaldir *(H: 1 g/mol, N: 14 g/mol)?*
5. 30 °C'ta 270 g glikozun ($C_6H_{12}O_6$) 396 g suda çözünmesiyle oluşan çözeltideki suyun buhar basıncını hesaplayınız *(30 °C'ta suyun buhar basıncı $P°_{çözücü} = 31,82$ mmHg, H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol).*
6. 155 g etilen glikolün [$C_2H_4(OH)_2$] 1250 g suda çözünmesiyle oluşan çözeltinin donma noktası alçalmasını hesaplayınız *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol, su için $K_d = 1,86$ °C/m).*
7. Osmotik basınç nedir? Osmoz olayının gerçekleştiği durumlara örnekler veriniz.
8. 0 °C'ta 350 g su ile hazırlanan doygun KCl çözeltisini 20 °C'ta doygun hâle getirmek için çözeltiye kaç gram KCl eklenmelidir *(KCl'ün çözünürlüğü 0 °C'ta 28 g/100 g su, 20 °C'ta 34 g/100 g su)?*
9. 60 °C'ta kütlece %20'lik 400 g NaCl çözeltisini doygun hâle getirmek için 40 g NaCl ekleniyor. Buna göre aynı sıcaklıkta NaCl'ün çözünürlüğü kaç g/100 g sudur?

## Ç. Aşağıda verilen ifadeleri kavramlarla eşleştiriniz.

| İfade | Kavram | Eşleştirme |
|---|---|---|
| **1.** Derişimi düşük olan çözeltidir. | **a.** Molalite | .......... |
| **2.** Belirli miktardaki çözücü veya çözelti içerisinde çözünmüş olarak bulunan madde miktarıdır. | **b.** Osmoz | .......... |
| **3.** 1 kg çözücüde çözünen maddenin mol sayısıdır. | **c.** London kuvvetleri | .......... |
| **4.** Bir çözeltideki çözücünün buhar basıncı, saf çözücünün buhar basıncı ile çözeltideki çözücünün mol kesrinin çarpımına eşittir. | **ç.** Doygun çözelti | .......... |
| **5.** Çözücü moleküllerinin bir membran ile seyreltik çözeltiden derişik çözeltiye net geçişidir. | **d.** Seyreltik çözelti | .......... |
| **6.** Belirli şartlarda, belirli bir miktar çözücüde çözünebilen kadar çözünen madde içeren çözeltidir. | **e.** Derişim | .......... |
| **7.** 1 L çözeltide çözünen maddenin mol sayısıdır. | **f.** Molarite | .......... |
| **8.** Anlık dipoller arasında gerçekleşen etkileşim türüdür. | **g.** Raoult Yasası | .......... |
| **9.** Çözücü ve çözünen taneciklerin sayılarına bağlı olup çözünenin kimyasal türüne bağlı olmayan özelliklerdir. | **h.** Kütlece yüzde | .......... |
| **10.** Belirli bir sıcaklıkta ve basınçta, belirli bir miktar çözücüde en fazla çözünebilen madde miktarıdır. | **ı.** Çözünürlük | .......... |
| | **i.** Koligatif özellikler | .......... |

## D. Çizelgede verilen kimyasal türler arasındaki etkileşim türünü belirtiniz. Kararınızın nedenini kısaca açıklayınız.

| Kimyasal türler | Etkileşim türü | Nedeni |
|---|---|---|
| HCl ve $H_2O$ | | |
| $C_2H_5OH$ ve $H_2O$ | | |
| NaCl ve $H_2O$ | | |
| $I_2$ ve $CCl_4$ | | |
| $NH_3$ ve $H_2O$ | | |
| $CO_2$ ve $H_2O$ | | |

## E. Aşağıda verilen çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.

**1. Apolar iki madde birbiri ile karıştırıldığında çözünme gerçekleşiyor. Buna göre çözünme olayında aşağıdaki kimyasal etkileşim türlerinden hangisi oluşur?**

**A)** Hidrojen bağı

**B)** London kuvvetleri

**C)** Dipol-dipol etkileşimi

**D)** İyon-dipol etkileşimi

**E)** Dipol-indüklenmiş dipol etkileşimi

**2. Bir çözünme olayında hidrojen bağının gerçekleştiği bilindiğine göre çözücü ve çözünen aşağıdakilerden hangisidir?**

| | Çözücü | Çözünen |
|---|---|---|
| **A)** | $H_2O$ | $NaNO_3$ |
| **B)** | $H_2O$ | $CO_2$ |
| **C)** | $CCl_4$ | $I_2$ |
| **D)** | $NH_3$ | HF |
| **E)** | HCl | Zn |

**3.** I. Polar maddeler arasında

II. Apolar maddeler arasında

III. Polar ve apolar maddeler arasında

**"Benzer benzeri çözer." ilkesi yukarıda özellikleri verilen hangi maddeler için geçerli olamaz?**

**A)** Yalnız III **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**4. 340 g suda 60 g tuz çözünmesiyle oluşan çözelti kütlece yüzde kaçlıktır?**

**A)** 50 **B)** 40 **C)** 25 **D)** 15 **E)** 10

5. **Hacimce %20'lik etanol çözeltisi 1500 mL olduğuna göre etanolün hacmi kaç mililitredir?**

**A)** 100 **B)** 200 **C)** 300 **D)** 400 **E)** 500

6. I. %20'lik 100 g NaOH çözeltisi

II. 0,2 M'lık 500 mL NaOH çözeltisi

III. 500 g suda 0,4 *m*'lik NaOH çözeltisi

**Yukarıdaki çözeltilerde NaOH'in mol sayılarının büyüklükleri arasındaki ilişki aşağıdakilerin hangisinde doğru verilmiştir** *(H: 1 g/mol, O: 16 g/mol, Na: 23 g/mol)?*

**A)** I > II > III **B)** I > III > II **C)** II > I > III **D)** II > III > I **E)** III > I > II

7. **1,5 M'lık 400 mL $NaNO_3$ çözeltisi hazırlamak için kaç gram $NaNO_3$ katısı gerekir** *(N: 14 g/mol, O: 16 g/mol, Na: 23 g/mol)?*

**A)** 16 **B)** 28 **C)** 35 **D)** 42 **E)** 51

8. **2,3 g etanolün ($C_2H_5OH$) 200 g suya karıştırılmasıyla oluşan çözelti kaç molaldir** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol)?*

**A)** 0,10 **B)** 0,15 **C)** 0,20 **D)** 0,25 **E)** 0,30

9. **Bir miktar çay şekerinin ($C_{12}H_{22}O_{11}$) suda çözünmesiyle hazırlanan çözeltinin derişimi 2,5 *m* olduğuna göre çözeltideki suyun mol kesri kaçtır** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol)?*

**A)** 0,27 **B)** 0,42 **C)** 0,69 **D)** 0,78 **E)** 0,96

10. **0,2 M'lık 400 mL HCl çözeltisi hazırlamak için 0,5 M'lık HCl çözeltisinden kaç mL alınmalıdır?**

**A)** 160 **B)** 180 **C)** 200 **D)** 225 **E)** 250

11. I. Buhar basıncı alçalması

II. Donma noktası alçalması

III. Kaynama noktası yükselmesi

**Yukarıdaki ifadelerden hangileri çözeltilerin koligatif özelliklerindendir?**

**A)** Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III

**D)** II ve III **E)** I, II ve III

12. **930 g etilen glikolün [$C_2H_4(OH)_2$] 5000 g suda çözünmesiyle oluşan çözeltinin donma noktası alçalması kaç °C'tur** *(H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol, su için $K_d$ = 1,86 °C/m)?*

**A)** 2,46 **B)** 3,75 **C)** 4,32

**D)** 5,58 **E)** 6,12

13. **Bir bileşikten 7,85 g alınıp 301 g benzende çözünmesiyle oluşan çözeltinin donma noktası alçalması 1,05 °C'tur. Bu bileşiğin mol kütlesi kaç g/mol'dür** *(Benzen için $K_d$ = 5,12 °C/m)?*

**A)** 68 **B)** 76 **C)** 94

**D)** 110 **E)** 127

14. **Bir canlı hücresi kendi sıvısından daha derişik sıvı bir ortamda bulunduğunda ozmotik basınç etkisiyle hücrede aşağıdakilerden hangisi gerçekleşir?**

**A)** Su alarak şişer.

**B)** Su kaybederek büzülür.

**C)** Çözücü miktarı artar.

**D)** Çözünen miktarı artar.

**E)** Çözünen miktarı azalır.

15. **20 °C'ta 270 g glikozun ($C_6H_{12}O_6$) 396 g suda çözünmesiyle oluşan çözeltideki suyun buhar basıncı kaç mmHg'dır** *(20 °C'taki suyun buhar basıncı $P^o_{çözücü}$ = 17,54 mmHg, H: 1 g/mol, C: 12 g/mol, O: 16 g/mol)?*

**A)** 17,10 **B)** 16,42 **C)** 16,15

**D)** 15,86 **E)** 15,37

16. **20 °C'taki KCl'ün 670 g doygun çözeltisi 90 °C'a ısıtılarak bu sıcaklıkta çözeltiyi doygun hâle getirmek için 100 g KCl ekleniyor. Buna göre KCl'ün 90 °C'taki çözünürlüğü kaç g/100 g sudur** *(20 °C'ta KCl'ün çözünürlüğü 34 g/100 g su)?*

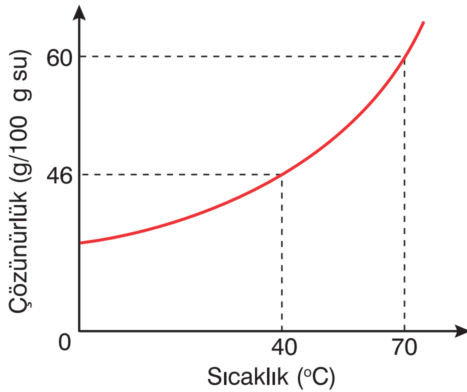
**A)** 24 **B)** 36 **C)** 42

**D)** 54 **E)** 60

**17.** **30 °C'ta $KNO_3$'ın 438 g doygun çözeltisi hazırlanıyor. Çözeltideki $KNO_3$'ın kütlesi 138 g olduğuna göre aynı sıcaklıkta $KNO_3$'ın çözünürlüğü kaç g/100 g sudur?**

**A)** 46 **B)** 69 **C)** 86 **D)** 92 **E)** 115

**18.**




**Yukarıda, $NH_4Cl$ tuzunun çözünürlüğünün sıcaklıkla değişim grafiği verilmiştir. $NH_4Cl$ tuzunun 70 °C'ta kütlece %37,5'luk 320 g çözeltisi hazırlanıyor. Buna göre;**

I. 70 °C'ta 110 g $NH_4Cl$ çözünmüştür.

II. 70 °C'ta çözelti doygundur.

III. Çözelti 40 °C'a soğutulursa 28 g $NH_4Cl$ çökelir.

**$NH_4Cl$ çözeltisi ile ilgili yukarıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II **D)** I ve III **E)** II ve III

**19.** **Benzinin bileşenlerinden biri olan oktan ($C_8H_{18}$) apolar bir bileşiktir. Aşağıdaki bileşiklerden hangisinin oktanda çözünmesi beklenir?**

**A)** $CH_3OH$ **B)** $H_2O$ **C)** $CCl_4$ **D)** $NH_3$ **E)** HCl

**20.** I. Tuzların sudaki çözünürlüğü genellikle sıcaklık arttıkça artar.

II. Gazların sudaki çözünürlüğü sıcaklık arttıkça azalır.

III. Gazların sudaki çözünürlüğü basınç arttıkça artar.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

# 4. ÜNİTE KİMYASAL TEPKİMELERDE ENERJİ



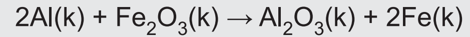
1 TEPKİMELERDE ISI DEĞİŞİMİ
2 OLUŞUM ENTALPİSİ
3 BAĞ ENERJİLERİ
4 TEPKİME ISILARININ TOPLANABİLİRLİĞİ

## Anahtar Kavramlar

bağ enerjisi, ekzotermik tepkime, endotermik tepkime, entalpi, Hess Yasası, standart oluşum entalpisi, tepkime entalpisi

## Ünitede

Kimyasal tepkimelerin enerjileri, iyi bir yakıtın üretimi için gerekli olan ham maddenin seçiminde, kimyasal işletmelerin tasarımında, biyokimyasal süreçlerin incelenmesinde ve kimyanın ilgi alanına giren daha birçok konuda önemlidir. Örneğin katı alüminyum (Al) metali ile katı demir(III) oksit ($Fe_2O_3$) bileşiği arasında meydana gelen ve termit tepkimesi olarak da bilinen kimyasal tepkimede katı alüminyum oksit ($Al_2O_3$) bileşiği ve sıvı demir (Fe) metali oluşur.



$$2Al(k) + Fe_2O_3(k) \rightarrow Al_2O_3(k) + 2Fe(k)$$

Bu tepkime çok şiddetli ve dışarıya ısı vererek gerçekleşir. Termit tepkimesinde oluşan demir sıvısının kullanıldığı yerlerden biri, demir yollarındaki iki rayın birleştiği uçlara dökülerek soğuması sonucunda rayların birbirine kaynak işlemi ile tutturulmasıdır.

**ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI**

**1.** Çevrede gerçekleşen tepkimelerden hangilerinin ısı alarak hangilerinin ısı vererek gerçekleştiği hakkında bir liste oluşturunuz.

**2.** Yiyeceklerin sindirilmesi enzim adı verilen karmaşık biyokimyasal tepkimeler sayesinde gerçekleşir. Bu tepkimelerde ısı alışverişinin olup olmadığını araştırınız.

# 1. Bölüm

## TEPKİMELERDE ISI DEĞİŞİMİ



### Konular



### Bölümde

Enerji, günlük hayatta sıkça kullanılan bir kelimedir ve daha çok soyut bir kavramı ifade eder. Örneğin, insanlar kendilerini yorgun hissettiklerinde enerjilerinin kalmadığını söyler. Yenilenemeyen enerji kaynaklarına seçenek olarak yeni enerji kaynaklarının bulunması gerektiğine dair yazılı ve görsel basında haberlerle karşılaşılır. Enerji, madde gibi görülemez, dokunulamaz, koklanamaz ve tartılamaz. Maddenin aksine enerji daha çok etkileriyle bilinir. Isıtmada, soğutmada, aydınlatmada, bazı cihazların çalıştırılmasında ve canlılık faaliyetlerinin devam ettirilmesinde az veya çok bir enerji değişimi gerçekleşir. Bu enerji değişimlerinden biri de çevrede meydana gelen ısı değişimidir. Kimyasal tepkimelerde ısı değişimi neden gerçekleşir?



*Resim 4.1.1:* Hindenburg zeplini, bir Alman hava yolu aracıdır. Hidrojen gazı doldurulmuş bu araç 1937'de müthiş bir patlama ile ABD'de yanarak parçalanmıştır.



*Resim 4.1.2:* Katı HgO bileşiği ısıtıldığında Hg sıvısına ve $O_2$ gazına ayrışır.




Ekzotermik ve endotermik tepkimelerin açıklanmasında bilişim teknolojilerinden (animasyon, simülasyon, video vb.) yararlanılmalıdır. İlgili görsellere Eğitim Bilişim Ağı (**eba.gov.tr**) adresinden ulaşılabilir.

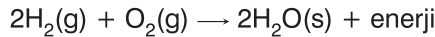
## 4.1.1 EKZOTERMİK VE ENDOTERMİK TEPKİMELER

Kimyasal tepkimelerde ısı değişimleri, en az kütleyle ilgili değişimler ve bağıntılar kadar kimyanın uygulama alanı içerisinde yer alır. Örneğin günlük hayatta insanları, kömürün ya da doğal gazın yanma tepkimesiyle elde edilen ürünlerden daha çok açığa çıkan ısı enerjisi ilgilendirir.

Kimya endüstrisinde üretim büyük ölçüde enerjiye dayanır. Dolayısıyla yerli ve yabancı girişimcilerin inisiyatif alarak enerji alanında yatırım yapmalarını özendirecek ortamın sağlanması son derece önemlidir.

Kimyasal tepkimelerin hemen hemen tamamında ya dışarıya ısı verilir ya da dışarıdan ısı alınır. Bu durum, her maddenin yapısında kendine özgü depoladığı enerjiyle ilgilidir.

Dışarıya ısı vererek gerçekleşen tepkimelere **ekzotermik tepkimeler** denir. Hidrojen gazının ($H_2$) oksijen gazıyla ($O_2$) yanma tepkimesi dışarıya ısı vererek gerçekleşen ekzotermik tepkimelerden biridir (Resim 4.1.1). Hidrojen gazının oksijen gazıyla yanma tepkimesine ait enerji değişimi Şekil 4.1.1.a'da gösterilmektedir.

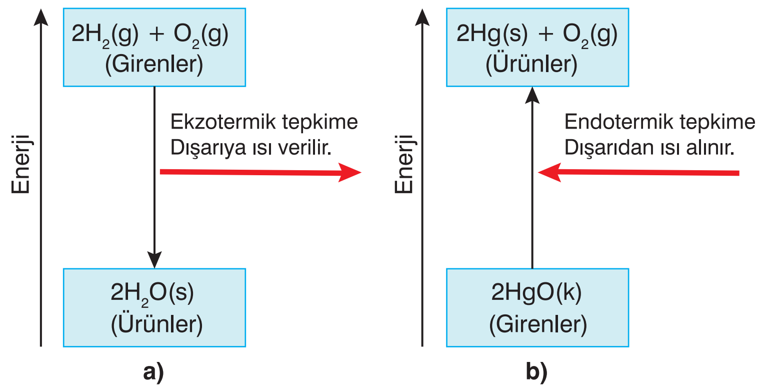


$2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(s) + \text{enerji}$

Dışarıdan ısı alarak gerçekleşen tepkimelere **endotermik tepkimeler** denir. Cıva(II) oksit bileşiğinin yüksek sıcaklıkta ayrışma tepkimesi dışarıdan ısı alarak gerçekleşen endotermik tepkimelerden biridir (Resim 4.1.2). Cıva(II) oksit (HgO) bileşiğinin ayrışma tepkimesine ait enerji değişimi Şekil 4.1.1.b'de gösterilmektedir.



$2HgO(k) + \text{enerji} \longrightarrow 2Hg(s) + O_2(g)$




**Şekil 4.1.1:** **a)** Ekzotermik tepkime **b)** Endotermik tepkime

Şekil 4.1.1.a'dan da anlaşılacağı gibi ekzotermik tepkimelerde, girenlerin toplam enerjisi ürünlerin toplam enerjisinden büyüktür. Ekzotermik tepkimelerde girenlerin ve ürünlerin enerjileri arasındaki fark kadar bir enerji dışarıya ısı olarak verilir. Şekil 4.1.1.b'deki gibi endotermik tepkimelerde ise girenlerin toplam enerjisi ürünlerin toplam enerjisinden küçüktür. Endotermik tepkimelerde girenlerin ve ürünlerin enerjileri arasındaki fark kadar bir enerji dışarıdan ısı olarak alınır.

# 2. Bölüm

## OLUŞUM ENTALPİSİ




### Konular



### Bölümde

Kimyasal tepkimelerde alınan veya verilen ısı miktarı tepkime entalpisi ile ifade edilir. Tepkime entalpisi şekilde görülen kalorimetre adı verilen bir cihaz ile ölçülür. En basit şekliyle bir kalorimetre, karıştırıcılı bir yalıtılmış kap, bir termometre ve bileşenleri atmosfer basıncında tutmak için gevşek bir kapaktan oluşur. Tepkime çoğunlukla belirli miktarda suyun bulunduğu kabın içinde gerçekleşir ve alınan veya verilen ısı miktarı sıcaklık değişiminden hesaplanır. Kalorimetrenin içindeki basınç sabit olduğundan (atmosfer basıncı) sıcaklık ölçümü, tepkime sırasındaki entalpi değişimini hesaplamayı mümkün kılar. Böyle bir kalorimetre, örneğin suda çözünen bir tuz tepkimesi için entalpi değişimini hesaplamada kullanılabilir.

Birçok kimyasal tepkime var ve bunların hepsinin tepkime entalpi değerlerini ölçmek mümkün değildir. Bununla birlikte daha verimli bir yöntem, farklı maddeler için belirli standart şartlarda oluşum entalpilerini ölçmektir. Farklı maddeler içeren herhangi bir tepkimenin tepkime entalpisini hesaplamada oluşum entalpi değerlerini kullanmaktır.

## 4.2.1 ENTALPİ VE TEPKİME ENTALPİSİ



*Resim 4.2.1:* Kimyasal tepkimeler çoğunlukla sabit atmosfer basıncında ve cam balon, erlenmayer, beherglas, kalorimetre kabı gibi açık kaplarda gerçekleştirilir.

Kimyasal tepkimeler daha çok sabit basınçta, genellikle atmosfere açık kaplarda gerçekleştirilir (Resim 4.2.1). Kimyasal tepkimelerde ısı alışverişi gerçekleşir ve ısı alışverişi entalpi adı verilen bir kavramla ifade edilir. Sabit basınçta ısı alışverişini izlemeye imkân sağlayan nicel özelliğe **entalpi** (H) denir. Entalpi değerinin tam olarak ölçülmesi mümkün değildir. Ancak bir kimyasal tepkimenin tepkime entalpisinin hesaplanması mümkündür. Kimyasal bir tepkimede dışarıya verilen veya dışarıdan alınan ısı enerjisine **tepkime entalpisi** (ΔH) denir. Herhangi bir kimyasal tepkimeye ait kimyasal eşitlik basitçe aşağıdaki gibi sembolleştirilebilir:



Girenler ⟶ Ürünler

Tepkime entalpisi, tepkimedeki ürünlerin entalpileri ile girenlerin entalpileri arasındaki farka eşittir. Bu ifade bir eşitlik olarak şöyle yazılabilir:

$$\Delta H = H_{\text{ürünler}} - H_{\text{girenler}}$$

Yukarıdaki eşitlikten de anlaşılacağı gibi tepkimeye girenlerin ve tepkimede oluşan ürünlerin entalpi değerlerine bağlı olarak bir kimyasal tepkimenin tepkime entalpisi değişebilir. Tepkime entalpisi değiştiğinde bu enerjinin kaynağı nedir? Tepkimede enerji nereden gelir veya nereye gider?

Kimyasal tepkimeler gerçekleşirken tepkimedeki atomları oluşturan protonlar ve elektronlar arasındaki elektrostatik etkileşimlerden, diğer bir ifadeyle atomların birbirlerine göre konumlarından ve düzenlenmelerinden kaynaklanan potansiyel enerji (PE) söz konusudur. Ekzotermik tepkimelerde bazı kimyasal bağlar kırılıp yeni kimyasal bağlar oluşurken atomlardaki protonlar ve elektronlar yüksek potansiyel enerjili durumdan düşük potansiyel enerjili duruma geçer. Atomlar yeniden düzenlenirken potansiyel enerjileri arasındaki fark kadar enerji ısı olarak açığa çıkar. Endotermik tepkimede ise bazı kimyasal bağlar kırılıp yeni kimyasal bağlar oluşurken protonlar ve elektronlar düşük potansiyel enerjili durumdan yüksek potansiyel enerjili duruma geçer. Atomlar yeniden düzenlenirken bu defa potansiyel enerjileri arasındaki fark kadar enerji dışarıdan ısı olarak alınır. Şimdi, ekzotermik ve endotermik tepkimelerin tepkime entalpisini potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği üzerinden açıklayalım.

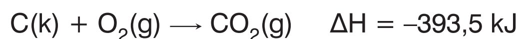
## Bilgi Notu

*Bazı kimya kaynaklarında "tepkime entalpisi" kavramı yerine "entalpi değişimi" ya da "tepkime ısısı" kavramları kullanılır.*

Karbon (C) katısının oksijen gazıyla ($O_2$) yanma tepkimesinden karbon dioksit ($CO_2$) gazı oluşur. Bu tepkimede dışarıya 393,5 kJ'lük ısı açığa çıkar. Dolayısıyla tepkime ekzotermik tepkimedir. Bu enerji değişimi, tepkime denklemiyle birlikte aşağıdaki gibi iki şekilde de gösterilebilir:



$$C(k) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 393{,}5 \text{ kJ}$$



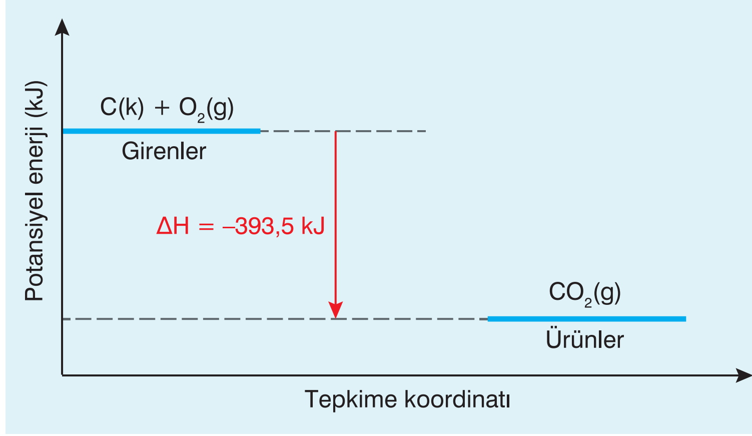
$$C(k) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -393{,}5 \text{ kJ}$$



## Uyarı

*Kimyasal tepkimelerde ısı alışverişi maddelerin fiziksel hâline de bağlı olduğundan tepkime denkleminde yer alan maddelerin fiziksel hâlleri mutlaka belirtilmelidir.*

Böyle bir ekzotermik tepkimenin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği çizilerek tepkime entalpisi belirlenebilir (Grafik 4.2.1).




***Grafik 4.2.1:*** Ekzotermik tepkimenin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği

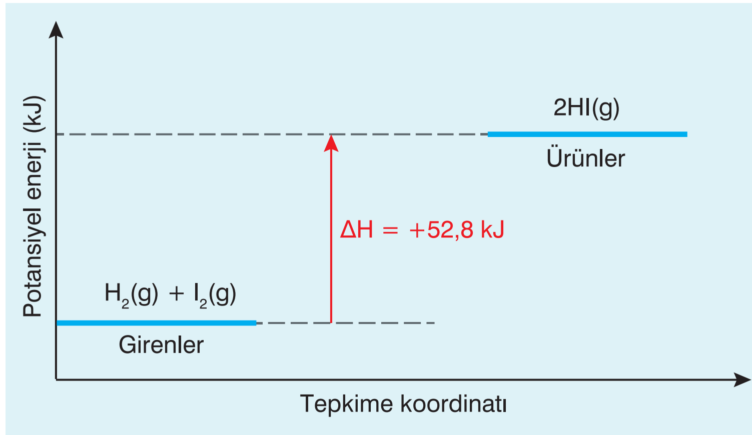
Grafik 4.2.1'den de anlaşılacağı gibi ekzotermik tepkimelerde girenlerin potansiyel enerjisi ürünlerin potansiyel enerjisinden büyüktür. Dolayısıyla aradaki potansiyel enerji farkı kadar bir enerji dışarıya ısı olarak verilir. Dışarıya verilen ısı miktarı ekzotermik tepkimenin entalpisidir ve tepkimede ürünler tarafına yazılır. Ekzotermik tepkimelerde ΔH değerinin işareti negatiftir.

Hidrojen gazı ($H_2$) ile iyot gazının ($I_2$) tepkimesinde hidrojen iyodür (HI) gazı oluşur. Bu tepkimede dışarıdan 52,8 kJ'lük ısı alınır. Dolayısıyla tepkime endotermik tepkimedir. Bu enerji değişimi, tepkime denklemiyle birlikte aşağıdaki gibi iki şekilde de gösterilebilir:


$H_2(g) + I_2(g) + 52{,}8\ kJ \longrightarrow 2HI(g)$


$H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g) \quad \Delta H = +52{,}8\ kJ$

Böyle bir endotermik tepkimenin de potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği çizilerek tepkime entalpisi belirlenebilir (Grafik 4.2.2).



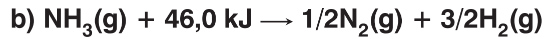

***Grafik 4.2.2:*** Endotermik tepkimenin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği

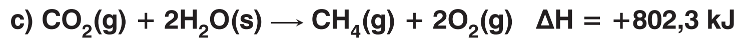
Grafik 4.2.2'den de anlaşılacağı gibi endotermik tepkimelerde girenlerin potansiyel enerjisi ürünlerin potansiyel enerjisinden küçüktür. Dolayısıyla aradaki potansiyel enerji farkı kadar enerji dışarıdan ısı olarak alınır. Dışarıdan alınan ısı miktarı endotermik tepkimenin entalpisidir ve tepkimede girenler tarafına yazılır. Endotermik tepkimelerde ΔH değerinin işareti pozitiftir.

**Alıştırma 1**

**Aşağıdaki tepkimelerin ekzotermik ve endotermik olmasını ısı alışverişiyle ilişkilendiriniz.**


**a)** $H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(s) \quad \Delta H = -285{,}8\ kJ$


**b)** $NH_3(g) + 46{,}0\ kJ \longrightarrow 1/2N_2(g) + 3/2H_2(g)$


**c)** $CO_2(g) + 2H_2O(s) \longrightarrow CH_4(g) + 2O_2(g) \quad \Delta H = +802{,}3\ kJ$


**ç)** $2Al(k) + Fe_2O_3(k) \longrightarrow Al_2O_3(k) + 2Fe(k) + 851{,}5\ kJ$

## 4.2.2 STANDART OLUŞUM ENTALPİSİ

Gerçekleşmesi mümkün olan milyonlarca tepkime vardır ve her bir tepkimenin entalpi değişimini deneysel olarak belirleyip bu tepkimeleri tepkime değişimleri ile birlikte vermek uygulamada mümkün değildir. Daha önce ifade edildiği gibi bir maddenin entalpisi tam olarak ölçülemez. Ancak maddelerin entalpi değerleri, seçilen bir referans nokta ile belirlenebilir. Daha sonra da belirlenen bu entalpi değerleri tepkimenin entalpi değişimini hesaplamada kullanılabilir.

Kimyacılar, tepkimelerin entalpi değişimlerini hesaplayabilmek için "standart oluşum entalpisi" denilen referans bir nokta belirlediler. **Standart oluşum entalpisi** $(\Delta H^o_{ol})$ , belirli bir hâldeki bir maddenin, standart şartlarda kendisini elementlerinden oluşturan entalpi değişimidir.

Termodinamikte bir maddenin **standart şartları**, 1 atmosfer basınçta ve belirli bir sıcaklıktaki en kararlı hâlidir. Standart şartların tanımında, kesin bir sıcaklık değeri olmasa da aksi belirtilmedikçe termodinamikte sıcaklık 25 °C (298 K) olarak alınır. Standart oluşum entalpisinin üst indisindeki "$^o$" standart şartları, alt indisindeki "$_{ol}$" ise oluşumu ifade etmektedir.

Elementlerin standart şartlardaki oluşum entalpileri sıfır (0) kabul edilir. Standart şartlarda birden çok allotropu olan elementlerin en kararlı allotropları esas alınır. Örneğin 1 atm'de ve 25 °C'ta oksijen molekülü ($O_2$) diğer allotropu olan ozondan ($O_3$) daha kararlıdır. Dolayısıyla oksijen molekülü için standart oluşum entalpisi $\Delta H^o_{ol\,(O_2)} = 0$ iken ozon için $\Delta H^o_{ol\,(O_3)} = +142{,}2$ kJ/mol'dür. Benzer şekilde 1 atm'de ve 25 °C'ta karbonun allotroplarından grafit, elmasa kıyasla daha kararlıdır. Dolayısıyla grafit için standart oluşum entalpisi $\Delta H^o_{ol\,[C(grafit)]} = 0$ iken elmas için standart oluşum entalpisi

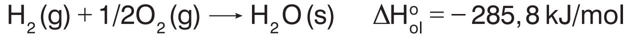
**Bilgi Notu**



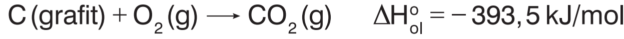
*Bir elementin atomlarının farklı kimyasal bağlanmaları sonucu oluşan iki veya daha fazla kimyasal tür **allotrop** olarak adlandırılır.*

$\Delta H^o_{ol\,[C(elmas)]} = +1{,}9$ kJ/mol'dür.

Şimdi, $H_2O$, $CO_2$ ve HI maddelerinin elementlerinden elde edilmelerine ilişkin tepkimeleri ve bu tepkimelerin standart oluşum entalpilerini irdeleyelim.



$H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(s) \quad \Delta H^o_{ol} = -285{,}8$ kJ/mol



$C(grafit) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H^o_{ol} = -393{,}5$ kJ/mol



$1/2\,H_2(g) + 1/2\,I_2(g) \longrightarrow HI(g) \quad \Delta H^o_{ol} = +26{,}4$ kJ/mol

$H_2O$ ve $CO_2$ maddelerine ait $\Delta H^o_{ol}$ değerlerinin negatif (–), HI maddesine ait $\Delta H^o_{ol}$ değerinin pozitif (+) işaretli olduğu görülür. Bir maddenin $\Delta H^o_{ol}$ değerinin negatif olması, maddenin elementlerinden oluşurken dışarıya ısı verildiğini, $\Delta H^o_{ol}$ değerinin pozitif olması ise maddenin elementlerinden oluşurken dışarıdan ısı alındığını gösterir. Buna göre $H_2O$ ve $CO_2$ maddelerinin elementlerinden oluşması tepkimesinin ekzotermik, HI maddesinin elementlerinden oluşması tepkimesinin ise endotermik olduğu söylenebilir. Tablo 4.2.1'de bazı maddelerin 25 °C'ta standart oluşum entalpileri verilmiştir. İnceleyiniz.

***Tablo 4.2.1:*** Bazı maddelerin 25 °C'ta standart oluşum entalpileri

| Madde | $\Delta H^o_{ol}$(kJ/mol) | Madde | $\Delta H^o_{ol}$(kJ/mol) | Madde | $\Delta H^o_{ol}$(kJ/mol) |
|---|---|---|---|---|---|
| Ag(k) | 0 | $Cl_2(g)$ | 0 | $H_2O(g)$ | –241,8 |
| AgCl(k) | –127,1 | $CH_4(g)$ | –74,8 | $H_2S(g)$ | –20,6 |
| Al(k) | 0 | $C_2H_2(g)$ | +226,7 | MgO(k) | –600,7 |
| $Al_2O_3(k)$ | –1675,7 | $C_2H_4(g)$ | +52,4 | NaCl(k) | –411,0 |
| BaO(k) | –588,1 | $C_2H_6(g)$ | –84,6 | $N_2(g)$ | 0 |
| $BaCO_3(k)$ | –1218,0 | $CH_4(g)$ | –74,8 | $NH_3(g)$ | –46,0 |
| $Br_2(s)$ | 0 | $Fe_2O_3(k)$ | –824,2 | NO(g) | +90,2 |
| C(grafit) | 0 | $H_2(g)$ | 0 | $NO_2(g)$ | +33,1 |
| C(elmas) | +1,9 | HF(g) | –271,1 | $N_2O_4(g)$ | +9,2 |
| CO(g) | –110,5 | HCl(g) | –92,3 | $O_2(g)$ | 0 |
| $CO_2(g)$ | –393,5 | HBr(g) | –36,4 | $O_3(g)$ | +142,2 |
| CaO(k) | –635,1 | HI(g) | +26,4 | $SO_2(g)$ | –296·8 |
| $CaCO_3(k)$ | –1206,9 | $H_2O(s)$ | –285,8 | $SO_3(g)$ | –395,2 |

## 4.2.3 STANDART TEPKİME ENTALPİLERİNİN HESAPLANMASI

Standart şartlarda gerçekleşen tepkimelerin entalpi değişimine **standart tepkime entalpisi** ($\Delta H^o$) denir. Standart oluşum entalpileri bilindiğinde bir tepkimenin standart tepkime entalpisi de hesaplanabilir. Standart tepkime entalpisi hesaplanırken tep-

## Hatırlatma



*Standart tepkime entalpileri, girenlerin ve ürünlerin standart şartlarda yani 1 atm'de saf hâlde bulunduğu tepkimeleri esas alır. Tepkime entalpileri genellikle 25 °C (298 K) sıcaklık için verilir.*

kimeye girenlerin ve ürünlerin standart oluşum entalpi değerlerinden yararlanılır. Bunun için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\Delta H^o = \Sigma n \Delta H^o_{ol(ürünler)} - \Sigma n \Delta H^o_{ol(girenler)}$$

Eşitlikteki "Σ" sembolü, toplamı göstermektedir. "n" sembolü ise tepkime denkleminde girenlerin ve ürünlerin stokiyometrik katsayılarıdır.

### Örnek 1



$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

**tepkimesinde girenlerin ve ürünlerin $\Delta H^o_{ol}$ değerleri aşağıda verilmiştir. Buna göre tepkimenin ΔH° değerini hesaplayınız.**

$\Delta H^o_{ol(CH_4)} = -74,8$ kJ/mol

$\Delta H^o_{ol(CO_2)} = -393,5$ kJ/mol

$\Delta H^o_{ol(H_2O)} = -241,8$ kJ/mol

### Çözüm 1

$O_2$ gazı element molekülü olduğundan standart oluşum entalpisi sıfır (0) dır. Dolayısıyla hesaplamaya katılmaz.

$$\Delta H^o = \Sigma n \Delta H^o_{ol(ürünler)} - \Sigma n \Delta H^o_{ol(girenler)}$$

$$\Delta H^o = \left[\Delta H^o_{ol(CO_2)} + 2\Delta H^o_{ol(H_2O)}\right] - \left[\Delta H^o_{ol(CH_4)}\right]$$

$$\Delta H^o = [(-393,5) + 2(-241,8)] - [(-74,8)]$$

$$\Delta H^o = [(-393,5) + (-483,6)] - [(-74,8)]$$

$$\Delta H^o = [(-877,1)] + [74,8]$$

$$\Delta H^o = -802,3 \text{ kJ/mol}$$

### Örnek 2



$$CaCO_3(k) \longrightarrow CaO(k) + CO_2(g)$$

**tepkimesinde girenlerin ve ürünlerin $\Delta H^o_{ol}$ değerleri aşağıda verilmiştir. Buna göre tepkimenin ΔH° değerini hesaplayınız.**

$\Delta H^o_{ol(CaCO_3)} = -1206,9$ kJ/mol

$\Delta H^o_{ol(CaO)} = -635,1$ kJ/mol

$\Delta H^o_{ol(CO_2)} = -393,5$ kJ/mol

## Çözüm 2

$\Delta H^o = \Sigma n \Delta H^o_{ol(ürünler)} - \Sigma n \Delta H^o_{ol(girenler)}$

$\Delta H^o = [\Delta H^o_{ol(CaO)} + \Delta H^o_{ol(CO_2)}] - [\Delta H^o_{ol(CaCO_3)}]$

$\Delta H^o = [(-635,1) + (-393,5)] - [(-1206,9)]$

$\Delta H^o = [(-1028,6) + 1206,9]$

$\Delta H^o = +178,3 \text{ kJ/mol}$

## Örnek 3

$2Al(k) + Fe_2O_3(k) \longrightarrow Al_2O_3(k) + 2Fe(k)$ tepkimesi için;

$\Delta H^o = -851,5 \text{ kJ/mol}$

$\Delta H^o_{ol(Fe_2O_3)} = -824,2 \text{ kJ/mol}$

**olduğuna göre $Al_2O_3$'in standart oluşum entalpisini $(\Delta H^o_{ol(Al_2O_3)})$ hesaplayınız.**

## Çözüm 3

Al ve Fe elementlerinin standart oluşum entalpisi sıfır (0) olduğundan standart tepkime entalpisinin hesaplanmasına ilişkin eşitlikte hesaplamaya katılmaz.

$\Delta H^o = \Sigma n \Delta H^o_{ol(ürünler)} - \Sigma n \Delta H^o_{ol(girenler)}$

$\Delta H^o = [\Delta H^o_{ol(Al_2O_3)}] - [\Delta H^o_{ol(Fe_2O_3)}]$

$-851,5 = [\Delta H^o_{ol(Al_2O_3)}] - [(-824,2)]$

$-851,5 = [\Delta H^o_{ol(Al_2O_3)}] + 824,2$

$\Delta H^o_{ol(Al_2O_3)} = -851,5 - 824,2$

$\Delta H^o_{ol(Al_2O_3)} = -1675,7 \text{ kJ/mol}$

## Alıştırma 2



$C_2H_6(g) + 7/2O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$

**tepkimesinde girenlerin ve ürünlerin $\Delta H^o_{ol}$ değerleri aşağıda verilmiştir. Buna göre tepkimenin $\Delta H^o$ değerini hesaplayınız.**

**$\Delta H^o_{ol(C_2H_6)} = -84,6$ kJ/mol**

**$\Delta H^o_{ol(CO_2)} = -393,5$ kJ/mol**

**$\Delta H^o_{ol(H_2O)} = -241,8$ kJ/mol**




Tepkime entalpilerine ilişkin **sayfa 275'teki** gibi elektronik tablolama programı kullanılarak grafik oluşturulmalıdır. Değerler değiştirilerek gerçekleşen değişimler gözlemlenmeli ve yorumlanmalıdır.

# 3. Bölüm

## BAĞ ENERJİLERİ



### Konular

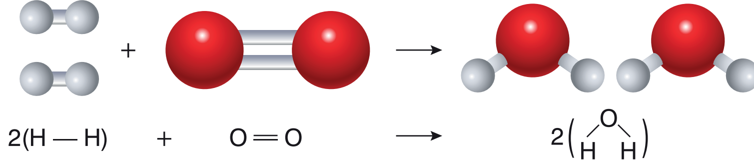


### Bölümde

Kimyasal türler arasında güçlü etkileşimlerin bir sonucu olarak kimyasal bağlar oluşur. Genelde daha güçlü kimyasal bağa sahip moleküller kimyasal olarak daha kararlı olmaya eğilimlidir ve dolayısıyla daha zayıf kimyasal bağ yapan moleküllere göre tepkimeye girme yatkınlığı daha azdır. Bunun nedeni kimyasal bağ enerjilerinin güçlü olmasıdır. Örneğin Dünya'yı saran ve atmosfer olarak da bilinen havanın yaklaşık %78'i $N_2$ gazından oluşur. Üçlü bağ yapan $N_2$ molekülünün ($N \equiv N$) bağ enerjisi 946 kJ/mol'dür. Bağ enerjisinin büyüklüğü, moleküldeki kimyasal bağın çok kararlı ve güçlü olduğunun bir kanıtıdır. Bu da azot molekülünün neden nispeten tepkimeye girme yatkınlığının az olduğunu açıklar.

## 4.3.1 BAĞ ENERJİLERİ İLE TEPKİME ENTALPİSİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Kimyanın bilim dalı olarak temellerinin atıldığı yıllarda kimyacılar iki hidrojen ve bir oksijen molekülünden iki su molekülünün oluştuğu kimyasal tepkimeyi biliyorlardı (Şekil 4.3.1). Bu durum nasıl gerçekleşmekteydi?




***Şekil 4.3.1:*** Suyun elementlerinden oluşumunun molekül modeli ile gösterimi

Kimyasal tepkimeler, kimyasal bağların kırılması ve yeni kimyasal bağların oluşmasıyla ilgilidir. Tepkimeye giren her bir hidrojen molekülünde iki hidrojen atomunu bir arada tutan tekli bağ ile oksijen molekülünde iki oksijen atomunu bir arada tutan ikili bağ kırılmıştır. Tepkimede ürün olarak iki hidrojen atomunun tekli bağlarla oksijen atomuna bağlandığı iki su molekülü oluşmuştur.

Kimyasal bağların kırılmasına ve oluşmasına eşlik eden enerji değişimleri söz konusudur. Bir kimyasal bağın kuvveti bağ enerjisiyle ölçülür. Bağ enerjisi aynı zamanda bir molekülün kararlılığının da bir ölçüsüdür. Standart şartlarda gaz hâlindeki bir molekülde 1 mol kimyasal bağı kırmak için gerekli olan enerji miktarına **bağ enerjisi** denir. Aşağıda verilen tepkimeleri ve tepkimelerde molekülü oluşturan atomlar arasındaki bağın kırılması için gerekli olan kimyasal bağ enerjilerini inceleyelim.


$H_2(g) \longrightarrow 2H(g) \qquad \Delta H° = +436 \text{ kJ/mol}$


$Cl_2(g) \longrightarrow 2Cl(g) \qquad \Delta H° = +242 \text{ kJ/mol}$

Kimyasal bağın kırılması için gerekli olan bağ enerjilerine dikkat edilecek olursa bağ enerjilerinin işaretinin pozitif olduğu görülür. Çünkü bir kimyasal bağın kırılması dışarıdan daima ısı alınmasını gerektirir. Diğer bir ifadeyle kimyasal bağın kırılması endotermik tepkimedir.

Kimyasal bağ kırılmasının tersi kimyasal bağ oluşmasıdır. Bir kimyasal bağın oluşumunda, o kimyasal bağın kırılması için gerekli olan enerji miktarı kadar bir enerji dışarıya verilir. Yani bir kimyasal bağın oluşması dışarıya daima ısı verilmesini gerektirir. Dolayısıyla kimyasal bağın oluşması ekzotermik tepkimedir. Örneğin hidrojen molekülünün ve klor molekülünün atomlarından oluşması tepkimesi ve enerji değişimi aşağıdaki gibi gerçekleşir:


$2H(g) \longrightarrow H_2(g) \qquad \Delta H° = -436 \text{ kJ/mol}$


$2Cl(g) \longrightarrow Cl_2(g) \qquad \Delta H° = -242 \text{ kJ/mol}$

**Bilgi Notu**



*Bazı kimya kaynaklarında bağ enerjisi, **bağ entalpisi** olarak ifade edilir.*

**Unutmayalım**



*Bir kimyasal bağı kırmak için dışarıdan alınması gereken enerji miktarı ile aynı kimyasal bağı oluşturmak için dışarıya verilmesi gereken enerji miktarı eşittir.*

Tepkimeye girenlerin kimyasal bağlarının kırılması ve ürünlerin kimyasal bağlarının oluşması için gerekli olan toplam enerjiyi belirlemede bağ enerjisi kullanılır. Tablo 4.3.1'de bazı atomlar arasındaki bağ enerjileri verilmiştir. İnceleyiniz.

*Tablo 4.3.1:* Bazı atomlar arasında tekli ve çoklu bağ enerjileri (kJ/mol)

| Kimyasal bağ | Bağ enerjisi (kJ/mol) | Kimyasal bağ | Bağ enerjisi (kJ/mol) |
|---|---|---|---|
| H — H | 436 | C — I | 238 |
| H — C | 414 | C — C | 346 |
| H — N | 391 | C = C | 612 |
| H — O | 464 | C ≡ C | 835 |
| H — S | 347 | C — O | 360 |
| H — F | 568 | C = O | 736* |
| H — Cl | 432 | C — N | 305 |
| H — Br | 366 | C = N | 615 |
| H — I | 298 | C ≡ N | 891 |
| F — F | 158 | N — N | 163 |
| Cl — Cl | 242 | N = N | 418 |
| Br — Br | 193 | N ≡ N | 946 |
| I — I | 151 | N — O | 210 |
| C — F | 484 | N = O | 590 |
| C — Cl | 338 | O ≡ O | 142 |
| C — Br | 276 | O = O | 498 |

* $CO_2$ molekülünde (O = C = O) her bir ikili C = O bağ enerjisi 799 kJ/mol'dür.

Uyarı



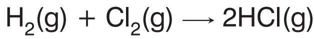
*Tablo 4.3.1'de iki atom arasındaki ikili ve üçlü kimyasal bağları kırmak için gerekli olan bağ enerjilerinin, aynı atomlar arasındaki tekli bağı kırmak için gerekli olan bağ enerjisinin iki veya üç katı olmadığına dikkat ediniz.*

Tablo 4.3.1'den de anlaşılacağı üzere bağ enerjisi, kimyasal bağı oluşturan atomların türüne göre değişebileceği gibi atomlar arasında tekli, ikili veya üçlü kimyasal bağın türüne göre de değişebilmektedir. Örneğin karbon atomları arasındaki tekli, ikili ve üçlü bağ enerjileri incelenecek olursa üçlü bağın kırılması için gerekli olan bağ enerjisi ikili bağın kırılması için gerekli olan bağ enerjisinden, ikili bağın kırılması için gerekli olan enerji de tekli bağın kırılması için gerekli olan enerjiden büyüktür. Kimyasal bağları kırmak için gerekli olan enerjinin büyüklüğü, atomlar arasındaki kimyasal bağın daha kuvvetli olduğuna işarettir.

Gaz fazında gerçekleşen kimyasal tepkimelere eşlik eden bağ enerjileri kullanılarak kimyasal tepkimelerin entalpileri hesaplanabilir. Tepkime entalpisi, tepkimeye girenlerin kimyasal bağlarının kırılması için gerekli olan toplam enerjinin, ürünlerin kimyasal bağlarının oluşması için gerekli olan toplam enerjiden çıkarılmasıyla hesaplanır. Bu ifade aşağıdaki eşitlikle şöyle gösterilebilir:

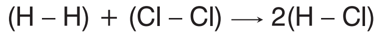
$$\Delta H° = \sum n\Delta H°_{(\text{kırılan bağlar})} - \sum n\Delta H°_{(\text{oluşan bağlar})}$$

Eşitlikteki "∑" sembolü toplamı, "n" sembolü tepkime denkleminde girenlerin ve ürünlerin stokiyometrik katsayılarını göstermektedir. Şimdi, kırılan ve oluşan bağ enerjileri üzerinden tepkime entalpilerinin nasıl hesaplanacağını örnekler üzerinde açıklayalım:




**Tablo 4.3.1'deki (s. 168) bağ enerjilerini kullanarak standart şartlarda gerçekleşen aşağıdaki tepkimenin entalpisini hesaplayınız.**

$H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g)$




1 mol $H_2$ molekülü 1 mol H – H bağı, 1 mol $Cl_2$ molekülü 1 mol Cl – Cl bağı ve 2 mol HCl molekülü de 2 mol H – Cl bağı içerir.

$(H - H) + (Cl - Cl) \longrightarrow 2(H - Cl)$

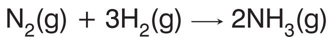
Buna göre tepkimenin entalpisi şöyle hesaplanır:

$\Delta H° = \sum n\Delta H°_{(kırılan\ bağlar)} - \sum n\Delta H°_{(oluşan\ bağlar)}$

$\Delta H° = [\Delta H°_{(H - H)} + \Delta H°_{(Cl - Cl)}] - [2\Delta H°_{(H - Cl)}]$

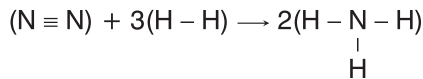
$\Delta H° = [436 + 242] - [2 \cdot 432]$

$\Delta H° = -186$ kJ/mol




**Tablo 4.3.1'deki (s. 168) bağ enerjilerini kullanarak standart şartlarda gerçekleşen aşağıdaki tepkimenin entalpisini hesaplayınız.**

$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$




1 mol $N_2$ molekülü 1 mol N ≡ N bağı ve 3 mol $H_2$ molekülü de 3 mol H – H bağı içerir. Her 1 mol $NH_3$ molekülü 3 mol N – H bağı içerdiğinden 2 mol $NH_3$ molekülü 6 mol N – H bağı içerir.

$(N \equiv N) + 3(H - H) \longrightarrow 2(H - \underset{\underset{H}{|}}{N} - H)$

Buna göre tepkimenin entalpisi şöyle hesaplanır:

$\Delta H° = \sum n\Delta H°_{(kırılan\ bağlar)} - \sum n\Delta H°_{(oluşan\ bağlar)}$

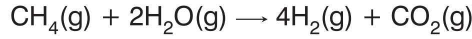
$\Delta H° = [\Delta H°_{(N \equiv N)} + 3\Delta H°_{(H - H)}] - [6\Delta H°_{(N - H)}]$

$\Delta H° = [946 + (3 \cdot 436)] - [6 \cdot 391]$

$\Delta H° = -92$ kJ/mol

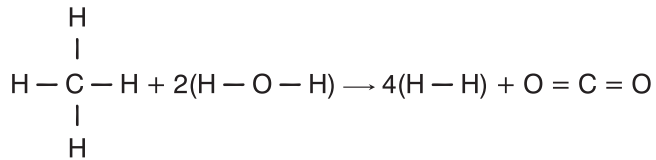
## Örnek 6

**Tablo 4.3.1'deki (s. 168) bağ enerjilerini kullanarak standart şartlarda gerçekleşen aşağıdaki tepkimenin entalpisini hesaplayınız.**




## Çözüm 6

1 mol $CH_4$ molekülü 4 mol C — H bağı ve her 1 mol $H_2O$ molekülü 2 mol H — O bağı içerdiğinden 2 mol $H_2O$ molekülü 4 mol H — O bağı içerir. 4 mol $H_2$ molekülü 4 mol H — H bağı ve 1 mol $CO_2$ molekülü 2 mol C = O bağı içerir.




Buna göre tepkimenin entalpisi şöyle hesaplanır:

$\Delta H° = \sum n\Delta H°_{(\text{kırılan bağlar})} - \sum n\Delta H°_{(\text{oluşan bağlar})}$

$\Delta H° = [4\Delta H°_{(C-H)} + 4\Delta H°_{(H-O)}] - [4\Delta H°_{(H-H)} + 2\Delta H°_{(C=O)}]$

$\Delta H° = [(4 \cdot 414) + (4 \cdot 464)] - [(4 \cdot 436) + (2 \cdot 799)]$

$\Delta H° = +170$ kJ/mol

## Araştıralım

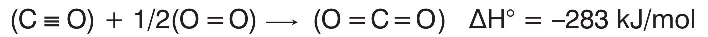
*Kimyasal bir tepkimede bağ enerjisi değerlerini kullanarak hesaplanan ΔH° değeri ile standart oluşum entalpisi değerlerini kullanarak hesaplanan ΔH° değeri her zaman aynı değildir. Nedenini araştırınız.*

## Alıştırma 3

1.

| Kimyasal bağ | Bağ enerjisi (kJ/mol) |
|---|---|
| O = O | 498 |
| C = O | 799 |
| C ≡ O | ? |

**Yukarıda verilen bağ enerjilerini kullanarak gaz fazında gerçek leşen;**




**tepkimesinde C ≡ O bağının enerjisini hesaplayınız.**

2.

| Kimyasal bağ | Bağ enerjisi (kJ/mol) |
|---|---|
| H — H | 436 |
| F — F | 158 |
| H — F | 568 |

**Yukarıda verilen bağ enerjilerini kullanarak gaz fazında gerçekleşen;** 2(H — F) ⟶ (H — H) + (F — F) **tepkimesinin entalpisini hesaplayınız.**

# 4. Bölüm

## TEPKİME ISILARININ TOPLANABİLİRLİĞİ



### Konular



### Bölümde

Bir binanın zemin katından üçüncü katına asansörle çıkılmak istenildiğini farz edelim. İster binanın üçüncü katına doğrudan çıkılsın, isterse her katından durarak çıkılsın kazanılan potansiyel enerji doğrudan üçüncü kata çıkılmasına ya da her katta durarak çıkılmasına bağlı olmaksızın aynı değerdedir. Bir kimyasal tepkimenin entalpi değişimi de tıpkı asansör örneğinde olduğu gibi tepkimenin tek basamakta veya birden fazla basamakta gerçekleşmesine bağlı olmaksızın aynı değerdedir. Tepkimenin tek basamakta gerçekleşen entalpi değişimi, birden fazla basamakta gerçekleşen entalpi değişimlerinin toplamına eşittir. Standart şartlardaki bir tepkimenin entalpisi, ara basamaklarda gerçekleşen tepkime ısılarının toplanabilirliği ilkesinin ifade edildiği Hess Yasası'na göre hesaplanır.

## 4.4.1 HESS YASASI



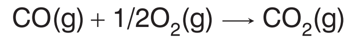
*Resim 4.4.1:* Mangaldaki kömür yetersiz $O_2$ gazı ile yandığından zehirli CO gazı oluşur.

Fosil yakıtlardan kömür, doğada tabakalaşmış olarak damarlar hâlinde bulunan yanıcı katı bir maddedir ve yapısında bol miktarda karbon [C(grafit)] elementi bulunur. Kömür, $O_2$ gazının yetersiz olduğu ortamda yakıldığında tam yanma gerçekleşmez. Tam yanmanın gerçekleşmediği durumda CO gazı elde edilir (Resim 4.4.1).

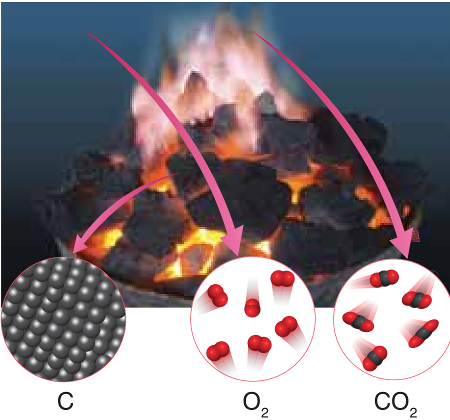
Kömürün yanmasından elde edilen CO gazı aslında istenmeyen bir durumdur. Çünkü hem daha az enerji elde edilir hem de insan sağlığı için zehirleyici bir gaz, çevre sağlığı için ise kirletici bir gazdır. CO gazı uygun şartlarda tekrar $O_2$ gazı ile yakıldığında $CO_2$ gazı elde edilir.



$C(grafit) + 1/2O_2(g) \longrightarrow CO(g)$



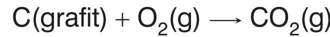
$CO(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$





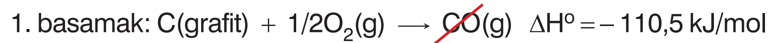
*Şekil 4.4.1:* Karbon katısının yeterli oksijen gazı ile yanma tepkimesinin molekül modelleri ile gösterimi.

Eğer $O_2$ gazının yeterli olduğu bir ortamda kömür yakılırsa CO gazı elde edilmeden doğrudan $CO_2$ gazı elde edilebilir (Şekil 4.4.1).

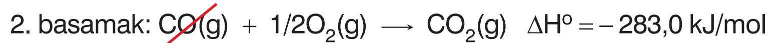


$C(grafit) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$

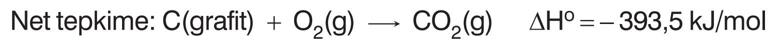
Yukarıdaki tepkimelerden de anlaşılacağı gibi katı karbonun oksijen gazı ile yanması sonucunda $CO_2$ gazı iki basamakta elde edilebileceği gibi tek basamakta da elde edilebilmektedir. Hatırlanacağı gibi kimyasal bir tepkimenin standart tepkime entalpisi, ürünlerin entalpileri toplamından girenlerin entalpileri toplamının farkı alınarak hesaplanıyordu. Birden fazla basamaktan oluşan kimyasal tepkimelerin standart tepkime entalpileri nasıl hesaplanabilir? Bu soruya, karbon katısından $CO_2$ gazının elde edilmesine ilişkin iki basamakta gerçekleşen yanma tepkimesinin standart tepkime entalpisini hesaplayarak cevap bulmaya çalışalım.



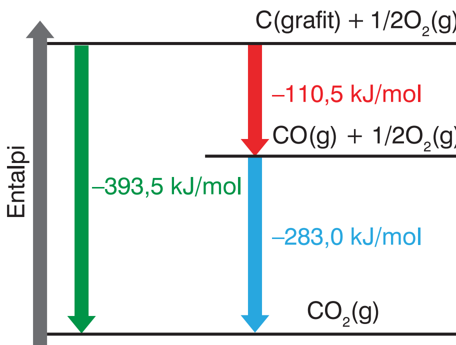
1. basamak: $C(grafit) + 1/2O_2(g) \longrightarrow \cancel{CO}(g) \quad \Delta H^o = -110,5$ kJ/mol



2. basamak: $\cancel{CO}(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H^o = -283,0$ kJ/mol



Net tepkime: $C(grafit) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H^o = -393,5$ kJ/mol





*Şekil 4.4.2:* $C(grafit) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ tepkimesi için entalpi değişimlerinin gösterimi.

Tepkime basamakları incelendiğinde, 1. basamakta CO oluşmuş ancak 2. basamakta harcanmıştır. Dolayısıyla 1 ve 2. basamaklar toplandığında net tepkime elde edilir. Buradan şu sonuç çıkarılabilir: Net tepkimenin standart tepkime entalpisi, basamakların standart tepkime entalpilerinin toplamına eşittir (Şekil 4.4.2).

Birçok madde doğrudan elementlerinden elde edilemeyebilir. Bazen tepkimeler çok yavaştır veya karbonun yanma tepkimesinde olduğu gibi elde edilmek istenen maddeden başka maddeler veren basamaklı tepkimeler olabilir. Böyle durumlarda bir tepkimenin $\Delta H^o$ değeri dolaylı yöntemle bulunur. Dolaylı yöntem, 1840 yılında Germain Henri Hess'in (Cörmein Henri Hes, Resim 4.4.2), birçok kimyasal gözleme dayanarak ortaya koyduğu ısıların toplanabilirliği ilkesine dayanır. **Hess Yasası**'na göre "*Basamaklardan oluşan net tepkimenin entalpi değişimi, basamakların entalpi değişimlerinin toplamına eşittir*." Hess Yasası'na göre basamaklardan oluşan net tepkimenin entalpi değişimi aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir:



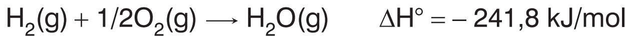
**Resim 4.4.2:** Germain Henri Hess (1802-1850), tepkime ısıları üzerine araştırmalarıyla termokimyanın temellerini atan önemli bir bilim insanıdır.

$$\Delta H^o_{net} = \Delta H^o_1 + \Delta H^o_2 + ...$$

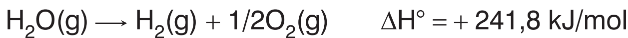
Bir tepkimenin gerçekte olup olmayacağı, hatta hesaplamada kullanılan bir dizi basamaklar üzerinden gerçekleşip gerçekleşmeyeceği bilinmese bile Hess Yasası uygulanabilir. Ara basamak tepkimelerinin denk olması ve her bir ara basamak tepkimeleri toplandığında ilgilenilen tepkimenin elde edilmesi kaydıyla, bir tepkimenin entalpi değişimi basamaklar üzerinden hesaplanabilir.

Basamaklardan oluşan net tepkimenin entalpi değişimi hesaplanırken basamaklardaki tepkimeler toplandığında net tepkimeyi verip vermediğine dikkat edilmelidir. Eğer tepkimeler toplandığında net tepkimeyi vermiyorsa aşağıdaki kurallar uygulanarak tepkimeler düzenlenebilir:

**1. kural:** Net tepkimeyi elde edebilmek için tepkimeler tersine çevrilebilir. Yani tepkimede girenler ürünler, ürünler de girenler olacak şekilde tersine çevrilebilir. Tepkime tersine çevrildiğinde $\Delta H°$ değerinin işareti de tersine çevrilmelidir. Örneğin;



$H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(g) \quad \Delta H° = -241,8$ kJ/mol



$H_2O(g) \longrightarrow H_2(g) + 1/2O_2(g) \quad \Delta H° = +241,8$ kJ/mol

**2. kural:** Net tepkimeyi elde edebilmek için tepkimeler uygun stokiyometrik katsayılarla çarpılabilir veya bölünebilir. Tepkime uygun katsayılarla çarpıldığında veya bölündüğünde $\Delta H°$ değeri de aynı stokiyometrik katsayı ile çarpılmalı veya bölünmelidir. Örneğin;



$H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(g) \quad \Delta H° = -241,8$ kJ/mol



$2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g) \quad \Delta H° = -483,6$ kJ/mol

Hess Yasası, doğrudan laboratuvarda ölçülemeyen veya güçlükle ölçülebilen tepkimelerin entalpi değişimlerini hesaplamada kullanılabilir.

## Örnek 7


1. basamak: $H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(g)$ $\quad \Delta H° = -241{,}8$ kJ/mol

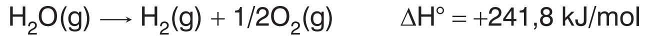

2. basamak: $C(k) + 1/2O_2(g) \longrightarrow CO(g)$ $\quad \Delta H° = -110{,}5$ kJ/mol

**Yukarıda verilen tepkimelerin standart tepkime entalpilerinden yararlanarak aşağıdaki net tepkimenin standart entalpi değişimini hesaplayınız.**

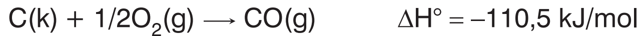

Net tepkime: $C(k) + H_2O(g) \longrightarrow CO(g) + H_2(g)$ $\quad \Delta H° = ?$ kJ/mol

## Çözüm 7

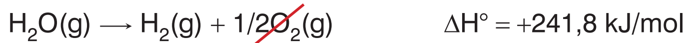
Net tepkimede girenlerde $H_2O$ bulunduğundan 1. basamak ters çevrilmelidir. Tepkime tersine çevrildiğinde ΔH° değerinin işareti de ters çevrilmelidir.


$H_2O(g) \longrightarrow H_2(g) + 1/2O_2(g)$ $\quad \Delta H° = +241{,}8$ kJ/mol

Net tepkimede girenlerde C katısı bulunduğundan 2. basamak aynen kalmalıdır.

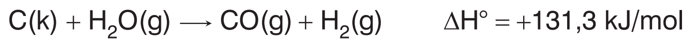

$C(k) + 1/2O_2(g) \longrightarrow CO(g)$ $\quad \Delta H° = -110{,}5$ kJ/mol

Düzenlenen bu iki basamaktaki tepkimeler ve standart tepkime entalpileri aşağıdaki gibi taraf tarafa toplanır. Toplama işleminde basamakların birinde oluşan fakat diğerinde harcanan maddeler ($O_2$) alınmaz. Böylece net tepkimenin standart entalpi değişimi hesaplanmış olur.


$H_2O(g) \longrightarrow H_2(g) + 1/2\cancel{O_2}(g)$ $\quad \Delta H° = +241{,}8$ kJ/mol

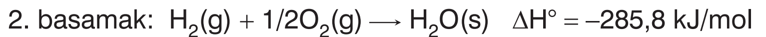

$C(k) + 1/2\cancel{O_2}(g) \longrightarrow CO(g)$ $\quad \Delta H° = -110{,}5$ kJ/mol

---


$C(k) + H_2O(g) \longrightarrow CO(g) + H_2(g)$ $\quad \Delta H° = +131{,}3$ kJ/mol

## Örnek 8

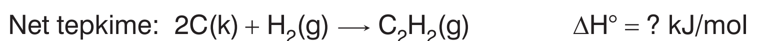

1. basamak: $C(k) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$ $\quad \Delta H° = -393{,}5$ kJ/mol


2. basamak: $H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(s)$ $\quad \Delta H° = -285{,}8$ kJ/mol


3. basamak: $2C_2H_2(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 4CO_2(g) + 2H_2O(s)$

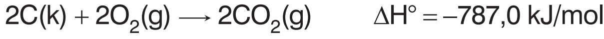

$\Delta H° = -2598{,}8$ kJ/mol

**Yukarıda verilen tepkimelerin standart tepkime entalpilerinden yararlanarak aşağıdaki net tepkimenin standart entalpi değişimini hesaplayınız.**

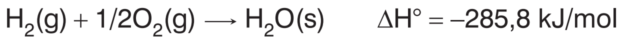

Net tepkime: $2C(k) + H_2(g) \longrightarrow C_2H_2(g)$ $\quad \Delta H° = ?$ kJ/mol

## Çözüm 8

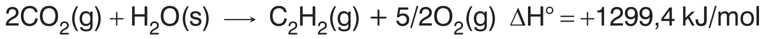
Net tepkimede girenlerde C katısı bulunduğundan 1. basamak aynen kalmalıdır. Ancak hem tepkimede yer alan maddelerin stokiyometrik katsayısı hem de ΔH° değeri 2 katsayısı ile çarpılmalıdır.


$2C(k) + 2O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)$ ΔH° = –787,0 kJ/mol

Net tepkimede girenlerde $H_2$ gazı bulunduğundan 2. basamak aynen kalmalıdır.


$H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(s)$ ΔH° = –285,8 kJ/mol

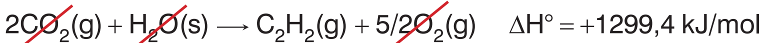
Net tepkimede ürün olarak $C_2H_2$ gazı bulunmaktadır. Bu nedenle $C_2H_2$ gazının girenlerde bulunduğu 3. basamak ters çevrilmelidir. Ürünlerde $C_2H_2$ gazı 1 mol bulunmaktadır. Dolayısıyla tepkime ters çevrildikten sonra hem tepkimede yer alan maddelerin stokiyometrik katsayısı hem de ΔH° değeri 2 katsayısına bölünmelidir.


$2CO_2(g) + H_2O(s) \longrightarrow C_2H_2(g) + 5/2O_2(g)$ ΔH° = +1299,4 kJ/mol

Düzenlenen bu üç basamaktaki tepkimeler ve standart tepkime entalpileri aşağıdaki gibi taraf tarafa toplanır. Toplama işleminde basamakların birinde oluşan fakat diğerinde harcanan maddeler ($CO_2$ ve $H_2O$) ile basamakların birinde harcanan fakat diğerinde oluşan maddeler ($O_2$) alınmaz. Böylece net tepkimenin standart entalpi değeri hesaplanmış olur.


$2C(k) + 2O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)$ ΔH° = –787,0 kJ/mol

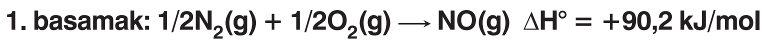

$H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(s)$ ΔH° = –285,8 kJ/mol


$2CO_2(g) + H_2O(s) \longrightarrow C_2H_2(g) + 5/2O_2(g)$ ΔH° = +1299,4 kJ/mol

---

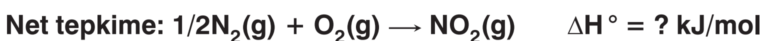

$2C(k) + H_2(g) \longrightarrow C_2H_2(g)$ ΔH° = +226,6 kJ/mol

## Alıştırma 4


**1. basamak: $1/2N_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow NO(g)$ ΔH° = +90,2 kJ/mol**


**2. basamak: $NO_2(g) \longrightarrow NO(g) + 1/2O_2(g)$ ΔH° = +57,1 kJ/mol**

**Yukarıda verilen tepkimelerin standart tepkime entalpilerinden yararlanarak aşağıdaki net tepkimenin standart entalpi değişimini hesaplayınız.**


**Net tepkime: $1/2N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow NO_2(g)$ ΔH° = ? kJ/mol**

# 4. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

## A. *Aşağıdaki metinde numaralandırılmış boşlukları kutuda verilen kelimelerden uygun olanlar ile tamamlayınız.*

**entalpi**, negatiftir, **standart oluşum entalpisi**, küçüktür, **1 mol**, endotermik tepkimelerdir, **pozitiftir**, **ekzotermik tepkimelerdir**, tepkime entalpisi, **büyüktür**

Bir yakıttaki ya da gıdadaki kimyasal enerji, moleküllerin düzenlenmelerine bağlı olarak atomlarda depolanmış potansiyel enerjiden ileri gelir. Maddeler kimyasal değişimlere maruz kaldığında depolanmış bu enerji ısı şeklinde dışarıya verilir. Dışarıya ısı vererek gerçekleşen tepkimeler ........................ (1). Bazı tepkimelerin gerçekleşmesi için dışarıdan enerji gerekir. Dışarıdan ısı alarak gerçekleşen tepkimeler ........................ (2). Sabit basınç altında kimyasal tepkimelerde ısı alışverişi ........................ (3) adı verilen nicel bir özellikle izlenir. Entalpi değeri doğrudan ölçülemez. Ancak bir kimyasal tepkimede dışarıya verilen veya dışarıdan alınan ısı enerjisi ........................ (4) olarak hesaplanabilir. Ekzotermik tepkimelerde girenlerin potansiyel enerjisi ürünlerin potansiyel enerjisinden ........................ (5). Dolayısıyla potansiyel enerji farkı kadar bir enerji dışarıya ısı olarak verilir. Dışarıya verilen ısı miktarı ekzotermik tepkimenin entalpisidir. Ekzotermik tepkimelerde ΔH değerinin işareti ........................ (6). Endotermik tepkimelerde ise girenlerin potansiyel enerjisi ürünlerin potansiyel enerjisinden ........................ (7). Dolayısıyla potansiyel enerji farkı kadar enerji dışarıdan ısı olarak alınır. Dışarıdan alınan ısı miktarı endotermik tepkimenin entalpisidir. Endotermik tepkimelerde ΔH değerinin işareti ........................ (8).

Birçok kimyasal tepkime gerçekleşmektedir. Her bir tepkimenin entalpi değişimlerinin deneysel olarak belirlenip tepkimelerde verilmesi uygulamada pratik olmadığı gibi mümkün de değildir. Bunun yerine kimyacılar ........................ (9) olarak adlandırılan referans bir nokta belirlediler. Standart oluşum entalpileri kullanılarak standart tepkime entalpileri hesaplanabilmektedir. Kimyasal tepkimeler gerçekleşirken bazı kimyasal bağların kırılması ve oluşması sırasında enerji değişimleri söz konusudur. Bu enerjinin miktarı kimyasal bağın kuvveti ile yakından ilişkilidir. Kimyasal bağın kuvveti bağ enerjisiyle ölçülür. Bağ enerjisi standart şartlarda gaz hâlindeki bir molekülde ........................ (10) kimyasal bağı kırmak için gerekli olan enerji miktarıdır. Bağ enerjisi aynı zamanda bir molekülün kararlılığının da bir ölçüsüdür.

## B. *Aşağıda verilen ifadeleri okuyunuz. İfadeler doğru ise "D", yanlış ise "Y" harfini işaretleyiniz.*

Ⓓ Ⓨ **1.** Kömürün yanması endotermik tepkimedir.

Ⓓ Ⓨ **2.** $2NH_3(g) + 92\ kJ \longrightarrow N_2(g) + 3H_2(g)$ tepkimesine göre amonyak gazının potansiyel enerjisi, azot ve hidrojen gazlarının toplam potansiyel enerjisinden büyüktür.

Ⓓ Ⓨ **3.** Bir kimyasal tepkimede dışarıya ısı veriliyorsa tepkimenin entalpisi sıfırdan küçüktür.

Ⓓ Ⓨ **4.** Kimyasal tepkimelerde standart şartlar, 1 atmosfer basınçta ve belirli bir sıcaklıktaki (genellikle 25 °C veya 298 K) şartlardır.

Ⓓ Ⓨ **5.** Standart tepkime entalpisi hesaplanırken girenlerin standart oluşum entalpilerinin toplamından ürünlerin standart oluşum entalpilerinin toplamı çıkarılır.

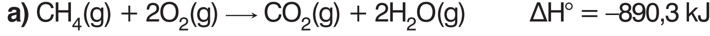
Ⓓ Ⓨ **6.** Gaz fazında gerçekleşen tepkimelerin entalpileri bağ enerjilerinden yararlanarak hesaplanabilir.

Ⓓ Ⓨ **7.** Elementlerin standart şartlarda oluşum entalpileri sıfır (0) kabul edilir.

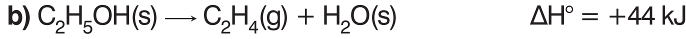
Ⓓ Ⓨ **8.** Birden fazla basamaklar üzerinden gerçekleşen tepkimede basamaklardaki tepkimelerin toplamı, net tepkime denklemini verir.

## C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Aşağıdaki tepkimelerin ekzotermik ya da endotermik olmasını ısı alışverişiyle ilişkilendirerek açıklayınız.

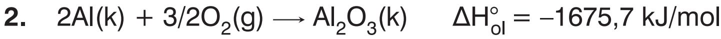


**a)** $CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g) \qquad \Delta H° = -890,3\ kJ$

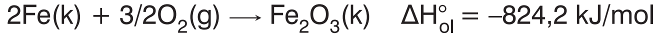


**b)** $C_2H_5OH(s) \longrightarrow C_2H_4(g) + H_2O(s) \qquad \Delta H° = +44\ kJ$

2.

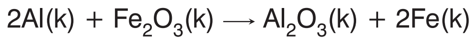


$2Al(k) + 3/2O_2(g) \longrightarrow Al_2O_3(k) \qquad \Delta H°_{ol} = -1675,7\ kJ/mol$



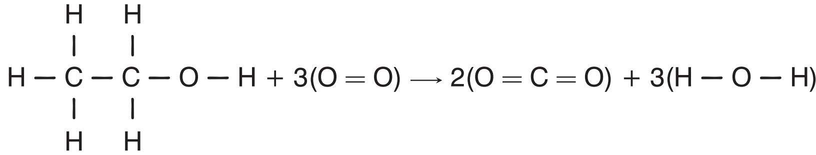
$2Fe(k) + 3/2O_2(g) \longrightarrow Fe_2O_3(k) \qquad \Delta H°_{ol} = -824,2\ kJ/mol$

Yukarıda verilen tepkimelerin standart oluşum entalpilerinden yararlanarak aşağıdaki net tepkimenin standart entalpi değişimini hesaplayınız.



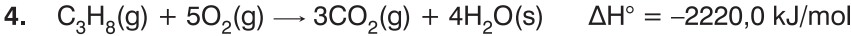
$2Al(k) + Fe_2O_3(k) \longrightarrow Al_2O_3(k) + 2Fe(k)$

3. Tablo 4.3.1'deki (s. 168) bağ enerjilerini kullanarak aşağıda açık formülü verilen tepkimenin entalpisini hesaplayınız.



$H-C(H_2)-C(H_2)-O-H + 3(O=O) \longrightarrow 2(O=C=O) + 3(H-O-H)$

4.



$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(s) \qquad \Delta H° = -2220,0\ kJ/mol$

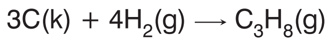


$C(k) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H° = -393,5\ kJ/mol$



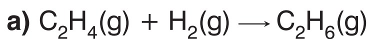
$H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(s) \qquad \Delta H° = -285,8\ kJ/mol$

Yukarıda verilen tepkimelerin standart tepkime entalpilerinden yararlanarak aşağıdaki net tepkimenin standart entalpi değişimini hesaplayınız.

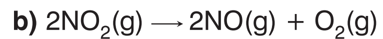


$3C(k) + 4H_2(g) \longrightarrow C_3H_8(g)$

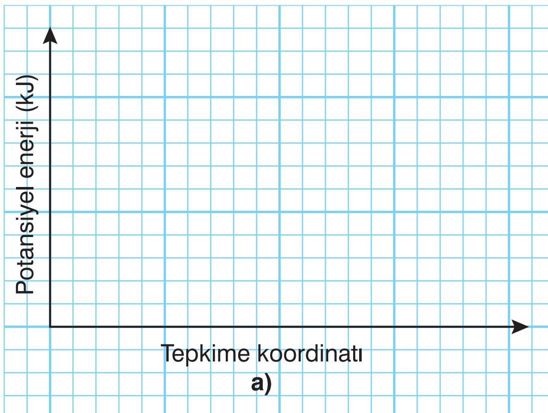
## Ç. *Tablo 4.2.1'deki (s. 163) verileri kullanarak aşağıdaki tepkimelerin standart tepkime entalpilerini hesaplayınız. Tepkimelerin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiklerini çiziniz. Tepkimelerin ekzotermik ya da endotermik oluşunu tepkime entalpisini kullanarak grafikler üzerinden yorumlayınız.*

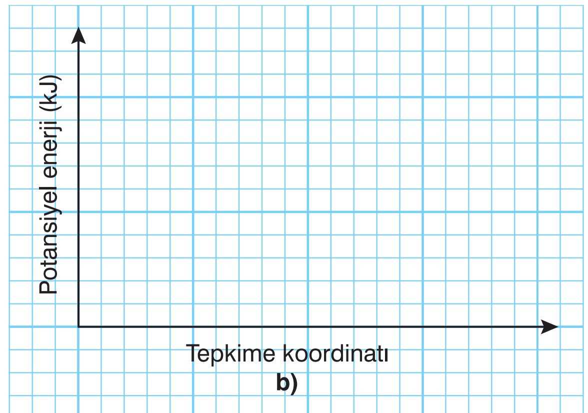


**a)** $C_2H_4(g) + H_2(g) \longrightarrow C_2H_6(g)$



**b)** $2NO_2(g) \longrightarrow 2NO(g) + O_2(g)$



## D. Aşağıda verilen ifadeleri kavramlarla eşleştiriniz.

| İfade | Kavram | Eşleştirme |
|---|---|---|
| **1.** Belirli hâldeki bir maddenin standart şartlarda kendisini elementlerinden oluşturan entalpi değişimidir. | **a.** Bağ enerjisi | .................. |
| **2.** Basamaklardan oluşan net tepkimenin entalpi değişimi, basamakların entalpi değişimlerinin toplamına eşittir. | **b.** Endotermik tepkimeler | .................. |
| **3.** Sabit basınçta ısı alışverişini izlemeye imkân sağlayan nicel özelliktir. | **c.** Standart şartlar | .................. |
| **4.** Standart şartlarda gaz hâlindeki bir molekülde 1 mol kimyasal bağı kırmak için gerekli olan enerji miktarıdır. | **ç.** Hess Yasası | .................. |
| **5.** Dışarıdan ısı alarak gerçekleşen tepkimelerdir. | **d.** Tepkime entalpisi | .................. |
| **6.** Kimyasal bir tepkimede dışarıya verilen veya dışarıdan alınan ısı enerjisidir. | **e.** Standart oluşum entalpisi | .................. |
| **7.** Dışarıya ısı vererek gerçekleşen tepkimelerdir. | **f.** Entalpi | .................. |
| **8.** 1 atmosfer basınç ve belirli bir sıcaklık (genellikle 25 °C) şartlarıdır. | **g.** Ekzotermik tepkimeler | .................. |
| | **h.** Sıcaklık | |

## E. Aşağıda verilen çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.

**1.** **Ekzotermik tepkimelerle ilgili olarak;**

I. Tepkimede dışarıya ısı verilir.

II. Ürünlerin potansiyel enerjisi girenlerinkinden büyüktür.

III. Tepkime entalpisi sıfırdan küçüktür.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

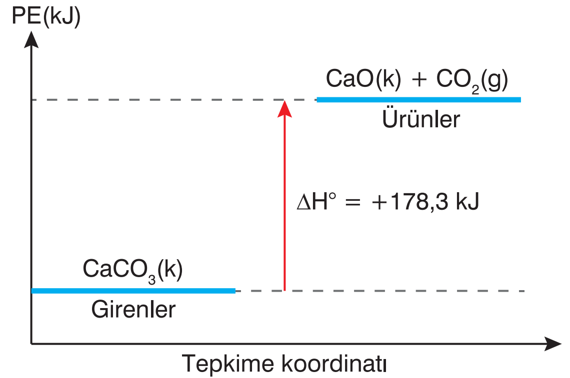
**A)** Yalnız III **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**2.** $C_2H_4(g) + H_2(g) \longrightarrow C_2H_6(g)$ $\Delta H° = -137{,}0$ kJ/mol

**Yukarıda verilen tepkimede $C_2H_6$ gazının standart oluşum entalpisi –84,6 kJ/mol olduğuna göre $C_2H_4$ gazının standart oluşum entalpisi kaç kJ/mol'dür?**

**A)** –221,6 **B)** –84,6 **C)** –52,4 **D)** +52,4 **E)** +84,6

**3.**




**Yukarıda potansiyel enerji (PE)-tepkime koordinatı grafiği verilen tepkime için;**

I. Dışarıya ısıveren tepkimedir.

II. Endotermik tepkimedir.

III. Tepkime denklemi; $CaCO_3(k) + 178{,}3$ kJ $\longrightarrow$ $CaO(k) + CO_2(g)$ şeklindedir.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**4.** **Endotermik tepkimelerle ilgili olarak;**

I. Tepkimede dışarıdan ısı alınır.

II. Tepkime entalpisi değerinin işareti pozitiftir.

III. Girenlerin potansiyel enerjisi ürünlerinkinden büyüktür.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**5.** I. 0,1 atm basınç ve 25 °C sıcaklık

II. 0,1 atm basınç ve 298 K sıcaklık

III. 1 atm basınç 25 °C sıcaklık

IV. 1 atm basınç ve 298 K sıcaklık

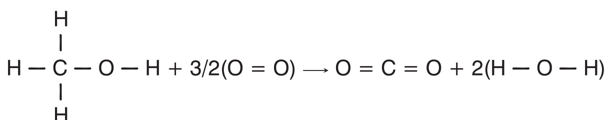
**Yukarıda verilen nicel şartlardan hangileri maddeler için standart şartlar olarak kabul edilir?**

**A)** I ve II **B)** I ve III **C)** II ve IV **D)** II ve III **E)** III ve IV

**6.**

| Kimyasal bağ | Bağ enerjisi (kJ/mol) |
|---|---|
| H — C | 414 |
| H — O | 464 |
| O = O | 498 |
| C — O | 360 |
| C = O | 799 |

**Yukarıda verilen bağ enerjilerine göre aşağıda açık formüllerle ifade edilen tepkimenin entalpisi kaç kJ/mol'dür?**




**A)** –754 **B)** –641 **C)** –598 **D)** –502 **E)** –423

**7.** I. S(k)

II. $CO_2(g)$

III. $H_2(g)$

**Yukarıda verilen maddelerden hangisinin ya da hangilerinin standart oluşum entalpisi sıfırdan farklıdır?**

**A)** Yalnız II **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**8.**

| Kimyasal bağ | Bağ enerjisi (kJ/mol) |
|---|---|
| H — H | 436 |
| Cl — Cl | 242 |
| H — Cl | 432 |

**Yukarıda verilen bağ enerjilerine göre;**

I. $H_2(g) \longrightarrow 2H(g)$   $\Delta H° = +436$ kJ/mol

II. $2Cl(g) \longrightarrow Cl_2(g)$   $\Delta H° = -242$ kJ/mol

III. $H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g)$   $\Delta H° > 0$

**tepkimelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız I **B)** Yalnız III **C)** I ve II **D)** I ve III **E)** II ve III

**9.** $H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(g)$   $\Delta H° = -241{,}8$ kJ/mol

**tepkimesiyle ilgili olarak;**

I. Endotermik tepkimedir.

II. Ürünlerin toplam entalpisi girenlerin toplam entalpisinden küçüktür.

III. Tepkime entalpisi $H_2O$ gazının standart oluşum entalpisine eşittir.

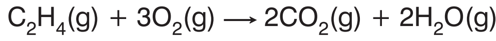
**A)** Yalnız II **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**10.** $\Delta H^o_{ol(C_2H_4)}$ = +52,4 kJ/mol

$\Delta H^o_{ol(CO_2)}$ = –393,5 kJ/mol

$\Delta H^o_{ol(H_2O)}$ = –241,8 kJ/mol

**Yukarıdaki verilere göre;**

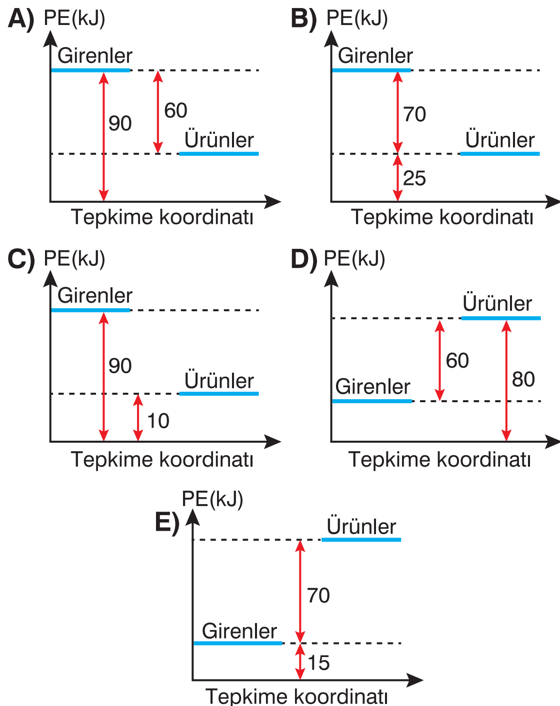


$C_2H_4(g) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(g)$

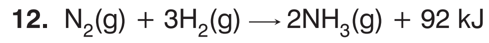
**tepkimesinin standart entalpi değişimi (ΔH°) kaç kJ/mol'dür?**

**A)** +766,4 **B)** +582,9 **C)** –988,4 **D)** –1218,2 **E)** –1323,0

**11. Kimyasal bir maddenin bir molünün oksijen gazı ile yanma tepkimesi verdiği ve bu maddenin yanma ısısı en fazla yani en iyi yakıt özelliği gösterdiği biliniyor. Buna göre bu maddeyle ilgili potansiyel enerji (PE)-tepkime koordinatı grafiği aşağıdakilerden hangisi olabilir?**




**12.**



$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g) + 92$ kJ

**Yukarıda verilen tepkimeyle ilgili olarak;**

I. $NH_3$ gazının standart oluşum entalpisi ($\Delta H^\circ_{ol}$), –92 kJ/mol'dür.

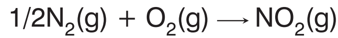
II. Standart tepkime entalpisi (ΔH°), –92 kJ/mol'dür.

III. Girenlerin toplam entalpisi ürünlerin toplam entalpisinden küçüktür.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

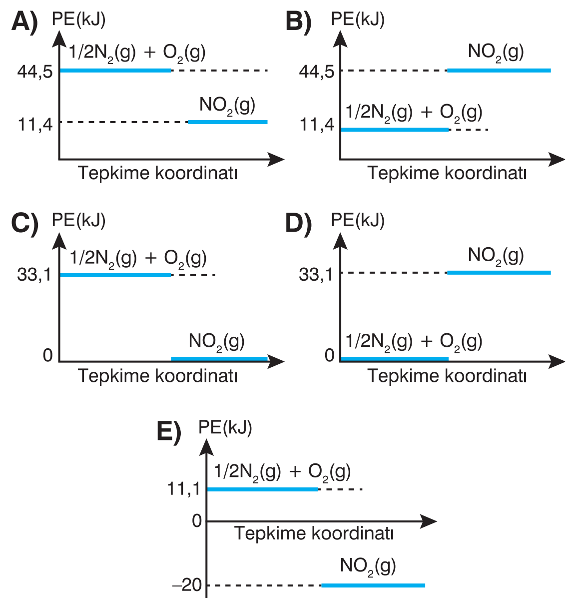
**A)** Yalnız II **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**13. $NO_2$ gazının standart oluşum entalpisi ($\Delta H^\circ_{ol}$) +33,1 kJ/mol olduğuna göre;**



$1/2N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow NO_2(g)$

**tepkimesi için potansiyel enerji (PE)-tepkime koordinatı grafiği aşağıdakilerin hangisinde doğru verilmiştir?**



**14.** **Bağ enerjisi;**

I. Kimyasal bağın kuvvetinin bir ölçüsüdür.

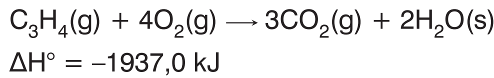
II. 1 mol kimyasal bağı kırmak için gerekli olan enerjidir.

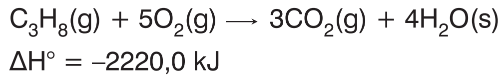
III. Tepkime entalpisinin hesaplanmasında kullanılır.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

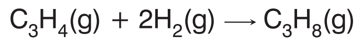
**A)** Yalnız II  **B)** I ve II  **C)** I ve III  **D)** II ve III  **E)** I, II ve III

**15.** 
$H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(s)$
$\Delta H° = –285,8$ kJ


$C_3H_4(g) + 4O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 2H_2O(s)$
$\Delta H° = –1937,0$ kJ


$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(s)$
$\Delta H° = –2220,0$ kJ

**Yukarıdaki verilere göre;**


$C_3H_4(g) + 2H_2(g) \longrightarrow C_3H_8(g)$

**tepkimesinin standart entalpi değişimi (ΔH°) kaç kJ'dür?**

**A)** +2217  **B)** +1654  **C)** –288,6  **D)** –568,8  **E)** –4442,8

**16.** "Standart oluşum entalpisi ($\Delta H°_{ol}$), belirli bir hâldeki bir maddenin standart şartlarda kendisini elementlerinden oluşturan entalpi değişimidir."

**Buna göre aşağıdaki hangi tepkimenin entalpisi standart oluşum entalpisidir?**

**A)** $NH_4Cl(k) \longrightarrow NH_3(g) + HCl(g)$

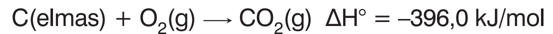
**B)** $2C(k) + 3H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow C_2H_5OH(s)$

**C)** $Ba^{2+}(suda) + SO_4^{2-}(suda) \longrightarrow BaSO_4(k)$

**D)** $C(k) + H_2O(g) \longrightarrow CO(g) + H_2(g)$

**E)** $HCl(suda) + NaOH(suda) \longrightarrow NaCl(suda) + H_2O(s)$

**17.** 
$C(grafit) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H° = –393,5$ kJ/mol


$C(elmas) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H° = –396,0$ kJ/mol

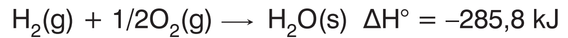
**Yukarıdaki verilere göre;**

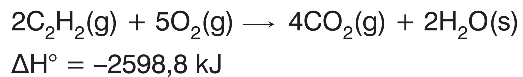

$C(grafit) \longrightarrow C(elmas)$

**tepkimesinin standart tepkime entalpisi (ΔH°) kaç kJ/mol'dür?**

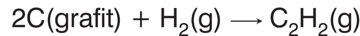
**A)** +789,4  **B)** +65,0  **C)** +2,5  **D)** –28,3  **E)** –659,8

**18.** 
$C(grafit) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H° = –393,5$ kJ


$H_2(g) + 1/2O_2(g) \longrightarrow H_2O(s) \quad \Delta H° = –285,8$ kJ


$2C_2H_2(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 4CO_2(g) + 2H_2O(s)$
$\Delta H° = –2598,8$ kJ

**Yukarıdaki verilere göre;**


$2C(grafit) + H_2(g) \longrightarrow C_2H_2(g)$

**tepkimesinin standart entalpi değişimi (ΔH°) kaç kJ'dür?**

**A)** +3278,1  **B)** +226,6  **C)** –786,5  **D)** –1654,2  **E)** –1919,5

**19.** I. Kimyasal bağın kırılması dışarıdan enerji alınmasını gerektirir.

II. Kimyasal bağın oluşması dışarıya enerji verilmesini gerektirir.

III. Aynı atomlar arasındaki ikili bağın enerjisi tekli bağın enerjisinin iki katıdır.

**ifadelerinden hangileri yanlıştır?**

**A)** Yalnız III  **B)** I ve II  **C)** I ve III  **D)** II ve III  **E)** I, II ve III

# 5. ÜNİTE KİMYASAL TEPKİMELERDE HIZ

1 > TEPKİME HIZLARI

2 > TEPKİME HIZINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER



## Anahtar Kavramlar

aktivasyon enerjisi, hız sabiti, inhibitör, katalizör, ortalama tepkime hızı

## Ünitede

Kimyasal bir tepkimenin hangi hızda ilerlediği ve ürünlerin ne şekilde oluştuğu sorusuna tepkimenin ilk ve son hâli arasındaki süreç dikkate alınarak kimyasal kinetikle cevap verilir. Kimyasal kinetik, kimyasal tepkimelerin hızını, bu hızı etkileyen faktörleri ve tepkimenin meydana geliş mekanizmasını (basamaklarını) araştırır.

Tepkime hızlarının bilinmesi ve bu hızların kontrolü kritik öneme sahiptir. Örneğin roketin güçlü bir şekilde gökyüzüne itilmesini sağlamak için kullanılan yakıtın hemen yanması tepkime hızının ne kadar önemli olduğunun açıkça bir göstergesidir.

**ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI**

**1.** Et, süt gibi gıda maddeleri yazın açıkta bırakıldığında çabuk bozulur. Bunun nedenini araştırınız.

**2.** Küçük parçalara ayrılmış kömür, aynı kütleye sahip büyük parçalı kömürden daha hızlı mı daha yavaş mı yanar? Nedenini araştırınız.

# 1. Bölüm

## TEPKİME HIZLARI

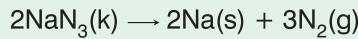


### Konular



### Bölümde

Otomobillerdeki hava yastıkları binlerce hayatı kurtarmaktadır. Emniyetli bir şekilde kullanılan hava yastıkları, kimya mühendislerinin ve kimyagerlerin ortak çabalarının bir sonucudur. En uygun hava yastığı gazı, azot gazıdır. Hava yastığı sistemi, çarpışma anında ilk darbeyi kaydeden sinyaller tarafından hızlı bir şekilde harekete geçirilir. Elektrikle sodyum azotür ($NaN_3$) katısının yanma tepkimesi başlatılır ve oluşan azot gazı ($N_2$) plastik torbayı doldurmak üzere yayılır.



$$2NaN_3(k) \longrightarrow 2Na(s) + 3N_2(g)$$

Şüphesiz her çarpışma hava yastığının çalışması ile sonuçlanmayabilir. Çünkü hava yastığının çarpışma anında çalışabilmesi için otomobillerin belirli bir hızda ve doğrultuda olması gerekir. Kimyasal tepkimelerin de moleküler düzeyde gerçekleşmesi, tıpkı otomobillerin çarpması sonucu hızlı bir şekilde harekete geçen hava yastığı sistemlerine benzetilebilir. Kimyasal tepkimeler bir kez başladıktan sonra hangi hızda devam eder?

## 5.1.1 KİMYASAL TEPKİMELERİN OLUŞUMUNA MOLEKÜLER BAKIŞ

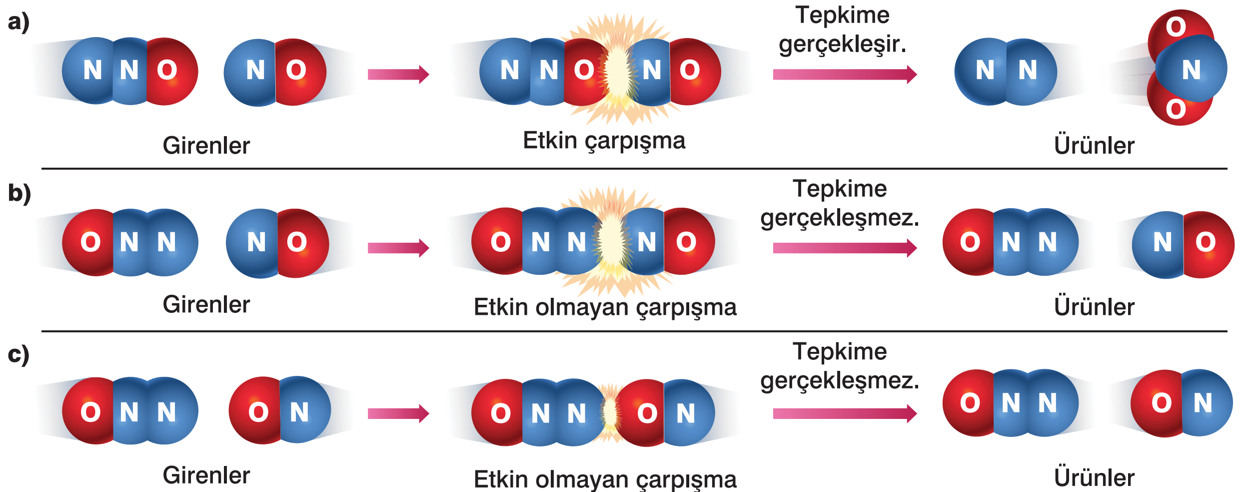
Kimyasal tepkimelerin gerçekleşebilmesi, tepkimeye giren maddeleri oluşturan taneciklerin mutlaka çarpışmalarını ve kimyasal bağların kırılıp yeniden oluşması için belirli bir enerji engelinin aşılmasını gerektirir. Şimdi, kimyasal tepkimeler ile tanecik çarpışmaları arasındaki ilişkiyi irdeleyelim.

### Çarpışma Teorisi

Kimyasal tepkimelerin hangi hızda gerçekleştiği ve girenlerden ürünlerin ne şekilde oluştuğu çarpışma teorisi ile açılanır. **Çarpışma teorisi**, bir kimyasal tepkimenin oluşabilmesi için tepkimeye giren taneciklerin birbirleriyle çarpışması gerektiğini varsayan bir teoridir. Ancak bütün çarpışmalar bir tepkime ile sonuçlanmaz. Bir kimyasal tepkimenin oluşabilmesi için aşağıdaki şu iki şartın sağlanması gerekir:

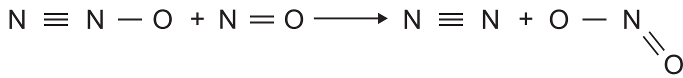
1. Çarpışan tanecikler yeterli bir enerjiye (hıza) sahip olmalıdır.
2. Çarpışan tanecikler birbirlerine göre uygun bir yönlenmeye sahip olmalıdır.

Bir tepkime vermek üzere yeterli bir enerjiye ve uygun bir yönlenmeye sahip tanecikler arasındaki çarpışmalar **etkin çarpışma** olarak adlandırılır. Bir tepkime vermeyecek şekilde, yeterli bir enerjiye ve uygun bir yönlenmeye sahip olmayan tanecikler arasındaki çarpışmalar ise **etkin olmayan çarpışma** olarak adlandırılır. Gaz fazında $N_2O$ ve NO tanecikleri arasındaki mümkün olabilecek Şekil 5.1.1'deki bazı çarpışmaları inceleyerek çarpışma teorisini anlamaya çalışalım.



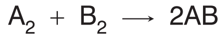

*Şekil 5.1.1:* Gaz fazındaki taneciklerin çarpışma teorisine göre etkin ve etkin olmayan çarpışmaları

Şekil 5.1.1'de de anlaşılacağı gibi kimyasal bir tepkimenin gerçekleşebilmesi için tepkimeye giren taneciklerin yalnızca çarpışmaları yeterli değildir. Girenlerden ürünlerin elde edilebileceği bir tepkime için etkin çarpışmaların olması gerekir. Şekil 5.1.1.a'da etkin bir çarpışma söz konusudur. Yeterli enerjiye sahip olan $N_2O$ ve NO tanecikleri aynı zamanda uygun bir yönlenmeye de sahiptir. Dolayısıyla $N_2O$ molekülündeki O atomunun NO molekülündeki N atomu ile çarpışması, $N_2$ ve $NO_2$ ürünlerini vermek üzere bir tepkime ile sonuçlanır. Çarpışma anında $N_2O$ molekülündeki N – O bağı kopar ve O atomu, NO molekülündeki N atomu ile yeni bir N – O bağı oluşturmak üzere NO molekülüne katılır ve aşağıdaki tepkime gerçekleşir:

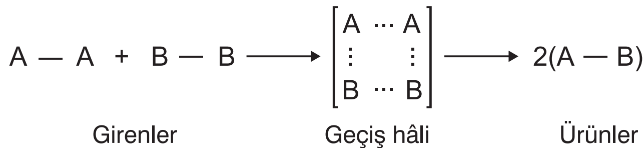



Şekil 5.1.1.b ve Şekil 5.1.1.c'de tanecikler yeterli enerjiye sahip olsalar dahi uygun yönlenmeye sahip olmadıklarından ürünleri oluşturmak üzere bir tepkime ile sonuçlanmamıştır.

Belirli bir kinetik enerjiye sahip $A_2$ ve $B_2$ molekülleri arasında tek basamakta gerçekleşen ve AB molekülünün oluştuğu aşağıdaki tepkimeyi ele alalım:

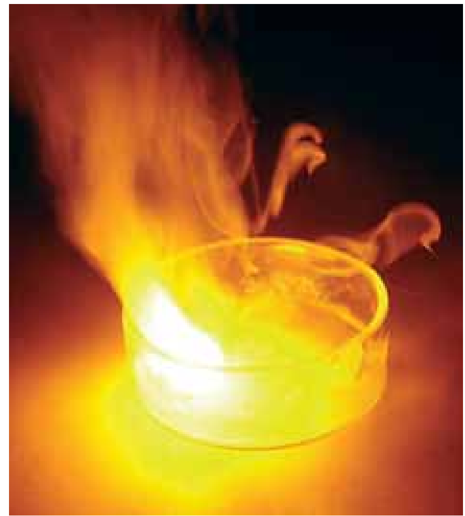



Tepkime gerçekleşirken tepkimeye giren moleküllerin bağlarının kısmen kırıldığı ve kısmen yenilerinin oluştuğu, yüksek enerjili ve kısa ömürlü ara hâl olan bir geçiş hâlinin söz konusu olduğu varsayılır. Geçiş hâli, aşağıdaki gibi atomlar arasında noktalarla veya kesikli çizgilerle gösterilir:




Tepkimeye girenlerin, çarpışarak geçiş hâline ulaşıp ürünlere dönüşebilmeleri için belirli bir kinetik enerjiye sahip olmaları gerekir. Bir çarpışmada tepkime oluşabilmesi için gerekli olan en düşük enerjiye **aktifleşme enerjisi** (aktivasyon enerjisi, $E_a$) denir (Resim 5.1.1).

Aktifleşme enerjisi, tepkimeye girenler ile ürünler arasında bir potansiyel enerji engelidir. $A_2$ ve $B_2$ molekülleri çarpıştıklarında sahip oldukları kinetik enerji aktifleşme enerjisinden daha az ise potansiyel enerji engelinin üstüne tırmanamaz ve ürün oluşmadan birbirlerinden uzaklaşarak tekrar girenleri oluştururlar. Bu durumda, bir tepkime meydana gelmez. Eğer moleküller çarpıştıklarında,



*Resim 5.1.1:* Sodyum metalinin su ile verdiği tepkime oldukça düşük aktifleşme enerjisine sahiptir ve tepkime bir anda gerçekleşir.

sahip oldukları kinetik enerji en az aktifleşme enerjisi kadar ise moleküller geçiş hâlini aşar ve AB moleküllerini oluşturmak üzere bir tepkime gerçekleşir. Geçiş hâlindeki yüksek enerjili ve kısa ömürlü ara ürüne **aktifleşmiş kompleks** denir.

Genellikle köşeli parantezler içinde gösterilen aktifleşmiş kompleks, tepkimede ayrıştırılabilir veya tespit edilebilir bir molekül değildir. Bu yapı, yalnızca bir an için var olan ve atomların kararsız düzenlenmelerinden kaynaklanan bir moleküldür.

Aktifleşmiş komplekste A – A ve B – B bağları zayıflayıp kısmen kırılırken A – B bağları da kısmen oluşur. Aktifleşmiş kompleks oldukça yüksek potansiyel enerjiye sahip bir hâldir.

$A_2$ ve $B_2$ molekülleri arasındaki tepkimede dışarıya enerji veriliyorsa yani ürünler girenlerden daha düşük potansiyel enerjili ise bu tür bir tepkime ekzotermik tepkimedir ve $\Delta H < 0$'dır (Grafik 5.1.1.a). Diğer yandan, $A_2$ ve $B_2$ molekülleri arasındaki tepkimede dışarıdan enerji alınıyorsa yani ürünler girenlerden daha yüksek potansiyel enerjili ise bu tür bir tepkime de endotermik tepkimedir ve $\Delta H > 0$'dır (Grafik 5.1.1.b).

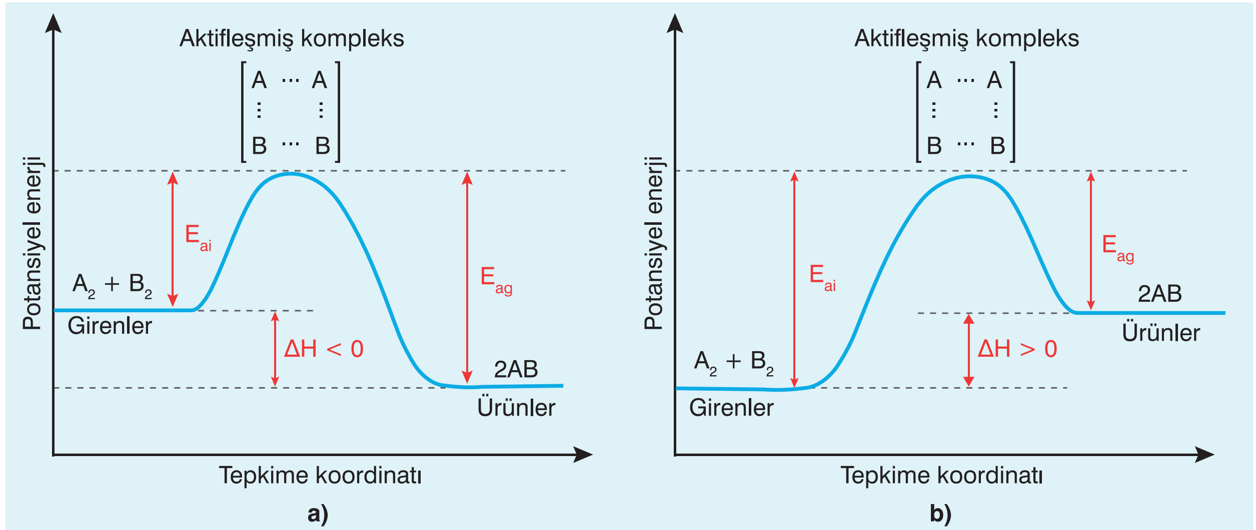
## Bilgi Notu

***Potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiklerinde;***

*$E_{ai}$ : İleri tepkimenin aktifleşme enerjisini,*

*$E_{ag}$ : Geri tepkimenin aktifleşme enerjisini,*

*$\Delta H$ : Tepkimenin entalpi değişimini ifade eder.*




***Grafik 5.1.1:*** Potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği, tepkimeye girenlerden ürünlerin oluştuğu tepkimenin nasıl ilerlediğini gösterir. **a)** Ekzotermik tepkime **b)** Endotermik tepkime

Bir tepkimenin entalpi değişimi, tepkimedeki ürünlerin entalpileri ile girenlerin entalpileri arasındaki farka eşittir.

$$\Delta H = H_{(\text{ürünler})} - H_{(\text{girenler})}$$

Ayrıca ileri tepkimenin aktifleşme enerjisi ile geri tepkimenin aktifleşme enerjisi arasındaki fark da bir tepkimenin entalpi değişimini verir.

$$\Delta H = E_{ai} - E_{ag}$$

Kimyasal tepkimeler gerçekleşirken tepkimenin hızlı ya da yavaş oluşuna göre zaman birimi değişkenlik gösterebilir. Yavaş gerçekleşen tepkimelerde zaman birimi büyük, hızlı gerçekleşen tepkimelerde zaman birimi küçük kullanılır. Örneğin patlamayla gerçekleşen hidrojen ve oksijen gazlarının tepkimesinde "mikro saniye", beyaz fosforun kendiliğinden havada tutuşarak yanmasında "saniye", kömürün yanmasında "dakika", demirin paslanmasında "gün" ve yer kabuğunda grafitin elmasa dönüşmesinde "yıl" gibi zaman birimleri kullanılır.

## 5.1.2 KİMYASAL TEPKİMELERİN HIZLARI

Kimyasal bir tepkimede girenlerden ürünler, bir patlama veya çökelme tepkimesinde olduğu gibi kısa bir zaman aralığında oluşuyorsa bu tepkimelerin hızlı olduğu düşünülür. Aksine, girenlerden ürünler bir demirin paslanmasında veya bir organik maddenin bozunmasında olduğu gibi uzun bir zaman aralığında oluşuyorsa bu tepkimelerin de yavaş olduğu düşünülür. Bir kimyasal tepkimenin "hızı" ile söylenmek istenilen nedir?

Bir kimyasal tepkimenin **tepkime hızı**, girenlerin ya da ürünlerin madde miktarının birim zamandaki değişimidir. Bu ifade aşağıdaki eşitlikle gösterilir:

$$\text{Tepkime hızı} = \frac{\text{Girenlerin ya da ürünlerin madde miktarındaki değişim}}{\text{Zamandaki değişim}}$$

Girenlerin ya da ürünlerin madde miktarı olarak derişimdeki, mol sayısındaki, kütledeki ya da gaz maddeler için normal şartlarda hacimdeki değişim değerleri kullanılır. Kimyasal tepkimelerin hızı incelenirken madde miktarındaki değişim olarak genellikle derişim birimi kullanılır. Kimyasal tepkimelerde girenlerin ya da ürünlerin madde miktarı olarak derişimdeki değişim dikkate alındığında tepkime hızı aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\text{Tepkime hızı} = \frac{\text{Derişimdeki değişim}}{\text{Zamandaki değişim}} \Rightarrow r = \frac{\Delta C}{\Delta t}$$

Eşitlikteki r, hızı; ΔC, girenlerin ya da ürünlerin derişimindeki değişimi; Δt ise zamandaki değişimi göstermektedir.

Kimyasal tepkimelerin büyük çoğunluğu çok kısa sürede tamamlanan tepkimeler olduğundan zaman birimi olarak da saniye (s) kullanılır. Derişim birimi mol/litre (mol/L), zaman birimi saniye (s) alındığında, tepkime hızının birimi mol/L s olur.

**Bilgi Notu**



*Bazı kimya kaynaklarında tepkime hızı "V", "r" gibi sembollerle gösterilmekte ya da "Hız" şeklinde ifade edilmektedir. Bu kitapta hız ifadesi "r" sembolü ile gösterilmektedir. Tepkime hızının ifade edildiği r = ΔC / Δt eşitliğinde "r", hız anlamına gelen İngilizcede "rate" kelimesinin; "C", derişim anlamına gelen İngilizcede "concentration" kelimesinin; "t" ise zaman anlamına gelen İngilizcede "time" kelimesinin baş harfinden gelmektedir.*

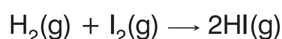
Bir tepkimenin hızını tespit edebilmek için derişimin zaman içindeki değişimlerinin ölçülmesi gerekir. Zaman değişimi bir kronometre ya da bir başka zaman ölçer aracı ile ölçülebilir. Bir kimyasal tepkime sırasında derişim değişimi ise tepkimede gaz çıkışı hızı, tepkimedeki renk, iletkenlik, basınç veya hacim gibi özelliklerin değişiminden belirlenebilir. Tablo 5.1.1'de bazı tepkimeler ve bu tepkimelerde hızın ölçümünde kullanılabilecek değişimler verilmiştir. İnceleyiniz.

***Tablo 5.1.1:*** Bazı tepkimeler ve bu tepkimelerde hızın ölçümünde kullanılabilecek değişimler

| **Tepkime** | **Tepkime hızının ölçümünde kullanılabilecek değişim** |
|---|---|
| $Zn(k) + 2HCl(suda) \longrightarrow ZnCl_2(suda) + H_2(g)$ | Gazın çıkış hızından |
| $C_2H_4(g) + Br_2(g) \longrightarrow C_2H_4Br_2(g)$<br>Renksiz Kahverengi Renksiz | Renk değişiminden |
| $Ag^+(suda) + Cl^-(suda) \longrightarrow AgCl(k)$ | İletkenlik değişiminden |
| $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$ (V, T sabit) | Basınç değişiminden |
| $2CO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)$ (P, T sabit) | Hacim değişiminden |

## 5.1.3 ORTALAMA HIZ KAVRAMI

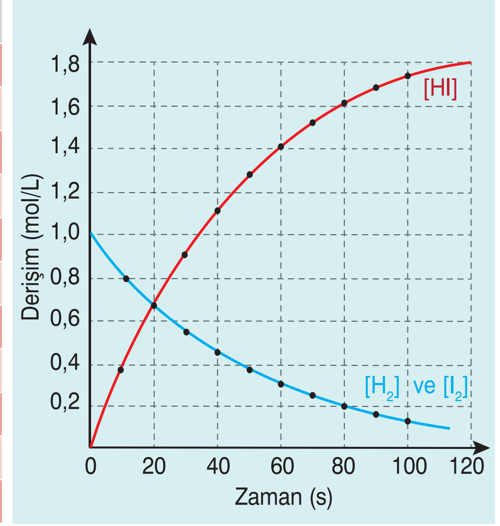
Birçok kimyasal tepkime hızının belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalarda bulunan kimyacılar, belirli bir zaman aralığında tepkimede girenlerin ya da ürünlerin derişimlerindeki değişimden yararlanarak incelediği tepkimenin ortalama hızını hesaplarlar. **Ortalama hız** ($r_{ort}$), girenlerin ya da ürünlerin derişiminin belirli bir zaman aralığındaki değişim hızıdır. Kimyasal bir tepkimenin ortalama hızını ifade edebilmek için farklı zaman aralıklarında tepkimedeki girenlerin ya da ürünlerin derişim değerleri ölçülür. Örneğin kapalı kapta ve gaz fazında gerçekleşen,




tepkimesini ele alalım. Bu tepkimenin başlangıç anından itibaren girenlerin ve ürünlerin derişimlerinin zamanla değişimine ilişkin değerler Tablo 5.1.2'de (s. 189), tablodaki değerlere göre tepkimenin derişim-zaman grafiği ise Grafik 5.1.2'de (s. 189) verilmiştir. Tabloyu ve grafiği inceleyerek tepkimede girenlerin ve ürünlerin derişimlerinin zamanla nasıl değiştiğini yorumlayalım.

*Tablo 5.1.2:* $H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)$ tepkimesinde maddelerin derişimlerinin zamanla değişimi

| Zaman (s) | $[H_2]$ (mol/L) | $[I_2]$ (mol/L) | [HI] (mol/L) |
|---|---|---|---|
| 0 | 1,00 | 1,00 | 0,00 |
| 10 | 0,82 | 0,82 | 0,36 |
| 20 | 0,67 | 0,67 | 0,66 |
| 30 | 0,55 | 0,55 | 0,90 |
| 40 | 0,45 | 0,45 | 1,10 |
| 50 | 0,37 | 0,37 | 1,26 |
| 60 | 0,30 | 0,30 | 1,40 |
| 70 | 0,25 | 0,25 | 1,50 |
| 80 | 0,20 | 0,20 | 1,60 |
| 90 | 0,16 | 0,16 | 1,68 |
| 100 | 0,14 | 0,14 | 1,72 |




*Grafik 5.1.2:* $H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)$ tepkimesinin derişim-zaman grafiği

Tablo 5.1.2 ve Grafik 5.1.2 incelendiğinde, $H_2$ ve $I_2$ moleküllerinin tepkimeye girerek HI molekülünü oluştururken başlangıçta girenlerin derişimlerinin zamanla hızla azaldığı, ürünlerin derişiminin ise zamanla hızla arttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca tepkime ilerledikçe girenlerin ve ürünlerin derişimlerindeki değişimin daha az gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum başlarda tepkimenin hızlı gerçekleştiğini, zamanla tepkimeye girenlerin derişiminin azalması nedeniyle tepkimenin yavaşladığı anlamına gelir.

Tablodaki veya grafikteki eğri üzerinde herhangi bir zaman aralığı belirlenerek girenlerin ya da ürünlerin derişimindeki değişimden tepkimenin ortalama hızı hesaplanabilir. Tepkimedeki girenlerin ortalama harcanma ve ürünlerin ortalama oluşma hızları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$H_2$'nin ortalama harcanma hızı; $r_{ort} = -\dfrac{[H_2]_{son} - [H_2]_{ilk}}{t_{son} - t_{ilk}} = -\dfrac{\Delta[H_2]}{\Delta t}$

$I_2$'nin ortalama harcanma hızı; $r_{ort} = -\dfrac{[I_2]_{son} - [I_2]_{ilk}}{t_{son} - t_{ilk}} = -\dfrac{\Delta[I_2]}{\Delta t}$

HI'nin ortalama oluşma hızı; $r_{ort} = \dfrac{1}{2} \cdot \dfrac{[HI]_{son} - [HI]_{ilk}}{t_{son} - t_{ilk}} = \dfrac{1}{2} \cdot \dfrac{\Delta[HI]}{\Delta t}$

Tepkime hızının değeri pozitif işaretlidir. Ancak tepkimeye girenler harcanırken derişimleri azaldığından tepkime hızı eşitliğinde $\Delta C_{(girenler)}$'in değeri negatif işaretli olur. Dolayısıyla tepkime hızının pozitif bir değer olması için $\Delta C_{(girenler)}$'in önüne eksi işareti konulur.

## Bilgi Notu

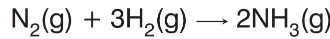


*Eğer kimyasal tepkimede belirli bir zamanda moleküllerin küçük bir oranı ürün oluşturmak üzere tepkimeye giriyorsa tepkime yavaş gerçekleşir. Eğer kimyasal tepkimede belirli bir zamanda moleküllerin büyük bir oranı ürün oluşturmak üzere tepkimeye giriyorsa tepkime hızlı gerçekleşir.*

Bir tepkimede girenlerin harcanma ve ürünlerin oluşma hızı tepkimenin stokiyometrik katsayıları ile ilişkilidir. Bu nedenle HI'nın ortalama oluşma hızı eşitliğinin önünde 1/2 stokiyometrik katsayısının bulunduğuna dikkat edilmelidir. Tepkime denklemine göre her 1 mol $H_2$ ve 1 mol $I_2$ harcandığında 2 mol HI oluşmaktadır. Dolayısıyla oluşan HI'nın derişimindeki değişim hızı, harcanan hem $H_2$'nin hem de $I_2$'nin derişimindeki değişim hızının iki katıdır. Tepkimede girenlerin ve ürünlerin ortalama hızlarında aynı değeri elde etmek için HI derişimindeki değişim 1/2 stokiyometrik katsayısıyla çarpılmalıdır. Tepkimeye girenlerin ve ürünlerin ortalama hız ifadeleri aşağıdaki eşitlikle şöyle gösterilebilir:

$$r_{ort} = -\frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[I_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[HI]}{\Delta t}$$

### Örnek 1



$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$

**tepkimesinde girenlerin ve ürünlerin ortalama hız ifadelerini yazınız.**

### Çözüm 1

Kimyasal bir tepkimede girenlerin ve ürünlerin stokiyometrik katsayıları birbirinden farklı olabilir. Böyle bir durumda ortalama hız ifadeleri yazılırken girenlerin ve ürünlerin stokiyometrik katsayıları paydaya bölüm olarak yazılmalıdır. Dolayısıyla tepkimede girenlerin ve ürünlerin ortalama hız ifadeleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$r_{ort} = -\frac{\Delta[N_2]}{\Delta t} = -\frac{1}{3} \cdot \frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t}$$

### Örnek 2

$4NO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2N_2O_5(g)$ **tepkimesinde $O_2$'nin ortalama harcanma hızı 0,024 mol/L s'dir. Buna göre;**

**a) $NO_2$'in ortalama harcanma hızını hesaplayınız.**

**b) $N_2O_5$'in ortalama oluşma hızını hesaplayınız.**

### Çözüm 2

$NO_2$'in ortalama harcanma ve $N_2O_5$'in ortalama oluşma hızını hesaplayabilmek için önce tepkime hızını stokiyometrik katsayıları içerecek şekilde ifade edelim.

$$r_{ort} = -\frac{1}{4}\cdot\frac{\Delta[NO_2]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\cdot\frac{\Delta[N_2O_5]}{\Delta t}$$

**a)** $O_2$'nin ortalama harcanma hızı;

$$\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = -0,024 \text{ mol/L s'dir.}$$

Burada, hızdaki negatif (–) işareti $O_2$'nin zamanla azaldığını göstermektedir.

$$r_{ort} = -\frac{1}{4}\cdot\frac{\Delta[NO_2]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta[NO_2]}{\Delta t} = 4\cdot(-0,024) = -0,096 \text{ mol/L s}$$

**b)**
$$r_{ort} = -\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\cdot\frac{\Delta[N_2O_5]}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta[N_2O_5]}{\Delta t} = -2(-0,024) = 0,048 \text{ mol/L s}$$

**Alıştırma 1**

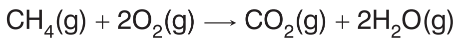
**$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$ tepkimesinin belirli bir anında $H_2$'nin harcanma hızı 0,075 mol/L s'dir. Buna göre;**

**a) $N_2$'nın harcanma hızını hesaplayınız.**

**b) $NH_3$'ın oluşma hızını hesaplayınız.**

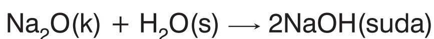
## 5.1.4 HOMOJEN VE HETEROJEN FAZ TEPKİMELERİ

Kimyasal tepkimeler girenlerin ve ürünlerin fiziksel hâllerine göre homojen ya da heterojen fazda gerçekleşebilir. Tepkimeye girenlerin ve ürünlerin aynı fazda olduğu tepkimelere **homojen faz tepkimeleri** denir. Homojen faz tepkimelerine aşağıdaki tepkimeler örnek olarak verilebilir:


$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$


$Fe^{3+}(suda) + SCN^-(suda) \longrightarrow FeSCN^{2+}(suda)$

Tepkimeye girenlerin ve ürünlerin farklı fazda olduğu tepkimelere ise **heterojen faz tepkimeleri** denir. Heterojen faz tepkimelerine aşağıdaki tepkimeler örnek olarak verilebilir:


$Na_2O(k) + H_2O(s) \longrightarrow 2NaOH(suda)$


$Zn(k) + 2HCl(suda) \longrightarrow ZnCl_2(suda) + H_2(g)$

**Bilgi Notu**

*Kurşun(II) nitrat ve potasyum iyodür çözeltileri karıştırıldığında hemen hızlı bir şekilde sarı kurşun(II) iyodür katısı çökelir. Bu tepkime heterojen fazda gerçekleşen tepkimedir.*



# 2. Bölüm

## TEPKİME HIZINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER



### Konular

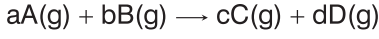


### Bölümde

Kertenkeleler soğukkanlıdır ve vücut sıcaklıklarını çevresel etkilerle düzenlerler. Kertenkelelerin vücutlarına soğuk su temas ettiğinde vücut sıcaklığındaki azalma nedeniyle hareketleri yavaşlar. Çünkü kertenkelelerin hareketi, vücutta gerçekleşen tepkimelerin hızına bağlıdır. Bu tepkimelerin hızı sıcaklığa karşı oldukça hassastır. Sıcaklık azalırsa hareketi oluşturan tepkimeler daha yavaş gerçekleşir ve sonuçta kertenkelelerin hareketi yavaşlar. Bu nedenle kertenkeleler güneş ve gölge arasında hareket ederek vücut sıcaklıklarını düzenlerler. Burada verilen örnekte olduğu gibi günlük hayatta gerçekleşen birçok kimyasal tepkimenin hızını etkileyen bazı faktörler vardır.

## 5.2.1 TEPKİME HIZININ DERİŞİME BAĞLI İFADESİ: HIZ DENKLEMİ

Bir kimyasal tepkimenin hızını inceleyen kimyacıların amacı tepkime hızı ile tepkimeye girenlerin derişimleri arasında bir eşitlik türetebilmektir. Aşağıda verilen ve gaz hâlinde gerçekleşen genel tepkimenin hız eşitliğini irdeleyelim:



$aA(g) + bB(g) \longrightarrow cC(g) + dD(g)$

Genel tepkimenin hızına ilişkin eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$r = k\,[A]^x\,[B]^y$$

Eşitlikte r, hızı; k, hız sabitini; [A] ve [B], tepkimeye girenlerin derişimini; x ve y ise deneysel olarak belirlenen üstel kuvveti ifade etmektedir.

Deneysel olarak türetilen bir tepkimenin hızının, hız sabitine ve tepkimeye girenlerin derişimlerinin üstel kuvvetlerine bağlı olduğunu ifade eden eşitliğe **hız denklemi** denir.

Genel tepkimedeki "a" ve "b", denkleştirilmiş tepkimenin stokiyometrik katsayılarıdır. Derişimlerde üstel kuvvetler olarak belirtilen "x" ve "y"nin, stokiyometrik katsayılar olan "a" ve "b" ile genellikle bir ilişkisi yoktur. Yani genellikle $x \neq a$ ve $y \neq b$'dir.

Bir tepkimenin hızının belirtilmesinde mertebe (derece) sözcüğü kullanılır. Genel tepkime dikkate alındığında "x"in değeri, A'ya göre tepkimenin mertebesini, "y"nin değeri, B'ye göre tepkimenin mertebesini ifade eder. "x" ve "y" nin toplamı (x + y) ise **tepkime mertebesi**ni verir. Örneğin genel tepkimede x = 1 ve y = 1 ise tepkime hem A'ya hem de B'ye göre birinci mertebedendir. Derişimlerdeki "x" ve "y" üstel kuvvetlerin toplamı tepkimenin mertebesini verdiğinden, tepkime ikinci mertebedendir.

Hız denkleminde yer alan **hız sabiti** (k), tepkime hızı ile derişimler arasındaki orantıyı eşitliğe dönüştürmek için kullanılan bir sabittir. "k"nin birimleri tepkime mertebesine bağlıdır.

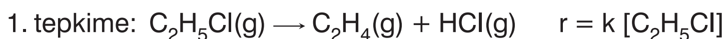
**Uyarı**



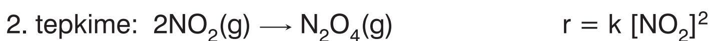
*Hız denklemi, daima tepkimeye girenlerin derişimi ile ifade edilir. Tepkimenin mertebesi ise tepkimeye girenlerin derişimlerinin üstel kuvvetleri ile ifade edilir ve üstel kuvvetler ancak deneysel sonuçlara göre belirlenebilir.*

## 5.2.2 TEK BASAMAKLI TEPKİMELERDE HIZ DENKLEMİ

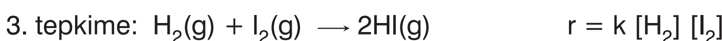
Gaz fazında ve tek basamakta gerçekleşen aşağıdaki tepkimelerin deneysel olarak belirlenen hız denklemlerini irdeleyelim.



1. tepkime: $C_2H_5Cl(g) \longrightarrow C_2H_4(g) + HCl(g)$ $\quad r = k\,[C_2H_5Cl]$



2. tepkime: $2NO_2(g) \longrightarrow N_2O_4(g)$ $\quad r = k\,[NO_2]^2$



3. tepkime: $H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)$ $\quad r = k\,[H_2]\,[I_2]$

**Uyarı** 

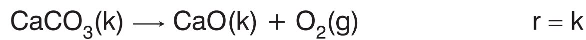
*Tek basamaklı tepkimelerde hız denkleminin, doğrudan stokiyometrik katsayılardan yazılabileceğine dikkat ediniz.*

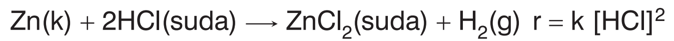
**Unutmayalım** 

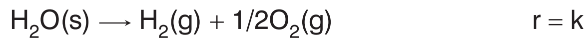
*Tepkimelerin hız denklemlerinde yer alan derişim ifadeleri, yalnızca gaz ve çözelti hâlindeki maddelere ait olabilir.*

Tek basamaklı tepkimelerden de anlaşılacağı gibi tepkimelere ilişkin deneysel verilerden türetilmiş tepkime hızları, tepkimeye girenlerin derişimleri cinsinden ifade edilmiştir. Ayrıca tepkime denklemlerindeki stokiyometrik katsayılar, tepkimeye girenlerin derişimlerine üstel kuvvet olarak yazılmıştır. 1. tepkimenin mertebesi bir, 2 ve 3. tepkimenin mertebesi ikidir.

Tepkime hızı, gaz hâlindeki tepkimeye girenlerin derişimleri ile ilişkilidir. Katı, sıvı veya sulu çözeltideki maddelerin derişimlerinin tepkime hızı ile bir ilişkisi var mıdır? Bu soruya tek basamakta gerçekleşen aşağıdaki tepkimelerin hız denklemlerini inceleyerek cevap bulalım.


$CaCO_3(k) \longrightarrow CaO(k) + O_2(g) \qquad r = k$


$Zn(k) + 2HCl(suda) \longrightarrow ZnCl_2(suda) + H_2(g) \qquad r = k\,[HCl]^2$


$H_2O(s) \longrightarrow H_2(g) + 1/2O_2(g) \qquad r = k$


$Na(k) + H_2O(s) \longrightarrow NaOH(suda) + 1/2H_2(g) \qquad r = k$


$H_2O_2(suda) \longrightarrow H_2O(s) + 1/2O_2(g) \qquad r = k\,[H_2O_2]$

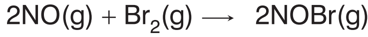
Yukarıda verilen tepkimeler incelendiğinde, tepkimeye giren katı ve sıvı hâldeki maddelerin derişimlerinin tepkime hızı ile bir ilişkilerinin olmadığı anlaşılmaktadır. Katı ve sıvı hâldeki maddelerin girdiği tepkimelerde hız, yalnızca hız sabiti “k” değerine eşittir. Bu tür tepkimeler sabit bir hızda ilerler.

Sulu çözeltideki maddelerin derişimleri, aynı gaz maddelerde olduğu gibi tepkime hızı ile ilişkilidir. Bu tür maddelerin tepkimelerdeki stokiyometrik katsayıları, hız denkleminde derişimlere üstel kuvvet olarak yazılır.

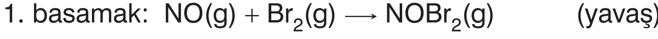
## 5.2.3 ÇOK BASAMAKLI TEPKİMELERDE HIZ DENKLEMİ

Bir tepkimenin nasıl oluştuğunu açıklamak için deneysel veriler ve kimyasal öngörüler bir arada kullanılarak bir tepkimenin gerçekleşmesi ile ilgili mekanizma önerilir. Tepkimeye girenlerin ürünlere dönüşmesinin yer aldığı ara basamaklar serisine **tepkime mekanizması** denir. Bir tepkimeye ilişkin mekanizmalar, tepkime ara basamaklarının ve tepkime ara ürünlerinin tespit edilmesi gibi birtakım verilere dayandırılarak önerilir. Bu veriler, hız sabiti ve tepkime mertebesini belirlemede kullanılır. Daha sonra hız denklemi yazılır. Ancak tepkimeler için önerilen mekanizmaların doğruluğu ispat edilemez. Çok basamaklı tepkimelerde hız denklemi ifade edilirken hangi basamak dikkate alınmalıdır?

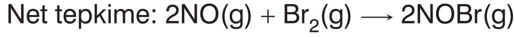
Tek basamaklı olmayıp iki ara basamak üzerinden yürüyen ve net tepkimesi aşağıdaki gibi olan tepkimeyi ele alalım:


$2NO(g) + Br_2(g) \longrightarrow 2NOBr(g)$

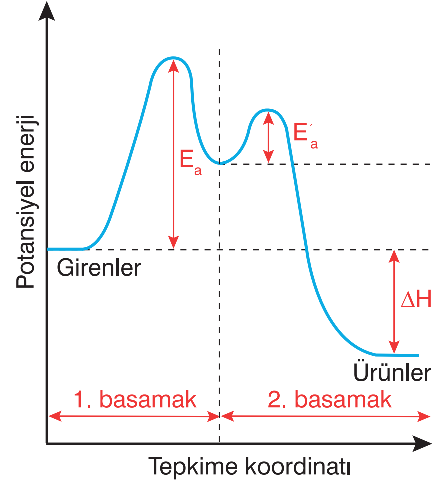
Net tepkimenin öngörülen mekanizması şöyledir:


1. basamak: $NO(g) + Br_2(g) \longrightarrow NOBr_2(g)$ (yavaş)


2. basamak: $NO(g) + NOBr_2(g) \longrightarrow 2NOBr(g)$ (hızlı)


Net tepkime: $2NO(g) + Br_2(g) \longrightarrow 2NOBr(g)$

Bu tepkimenin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği ise Grafik 5.2.1'deki gibidir. Grafikten de anlaşılacağı gibi 1. basamağın ileri aktifleşme enerjisi 2. basamağın ileri aktifleşme enerjisinden büyüktür. Bir tepkimenin aktifleşme enerjisi ne kadar büyükse tepkimenin hızı da o kadar yavaştır. Dolayısıyla 1. basamaktaki tepkime 2. basamaktaki tepkimeye göre yavaştır.




**Grafik 5.2.1:** *$2NO(g) + Br_2(g) \longrightarrow 2NOBr(g)$ tepkimesinin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği*

Mekanizmalı tepkimelerde hız belirleyen basamak yavaş basamaktır. Bu nedenle mekanizmalı tepkimelerde net tepkimenin hız denklemi yavaş basamağa göre yazılır. Tepkimenin hız denklemi yavaş basamağa göre aşağıdaki gibi yazılır:

$r = k\,[NO]\,[Br_2]$

Hız denkleminden şu sonuç çıkarılabilir: Tepkimenin hızı, NO ve $Br_2$ derişimlerinin her birinin birinci üstel kuvvetine bağlıdır ve tepkime ikinci mertebedendir.

1. basamakta oluşan ve 2. basamakta harcanan $NOBr_2$, tepkimede bir ara üründür. Herhangi bir basamakta oluşan, sonraki basamaklarda harcanarak tepkimede bir rol oynayan fakat net tepkimede yer almayan maddeler **tepkime ara ürünü** olarak adlandırılır.

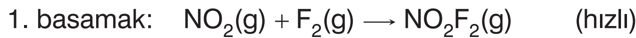
## Biliyor musunuz?

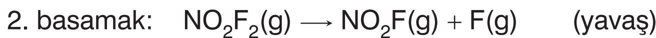


*Hız belirleyen basamak, tek araç geçebilecek kadar dar bir yoldaki trafik akışına benzetilebilir. Araçlar birbirini sollayamadıkları için yoldaki tüm araçların hızı en yavaş aracın hızına bağlı olacaktır.*

## Örnek 3

$2NO_2(g) + F_2(g) \longrightarrow 2NO_2F(g)$ **net tepkimesi için önerilen mekanizma aşağıdaki gibidir:**


1. basamak: $NO_2(g) + F_2(g) \longrightarrow NO_2F_2(g)$ (hızlı)

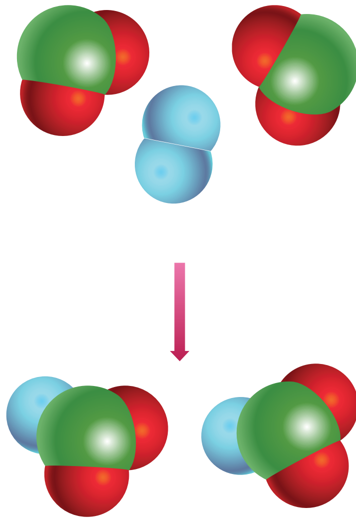

2. basamak: $NO_2F_2(g) \longrightarrow NO_2F(g) + F(g)$ (yavaş)


3. basamak: $NO_2(g) + F(g) \longrightarrow NO_2F(g)$ (çok hızlı)

**Buna göre tepkimenin hız denklemini yazarak tepkime mertebesini belirtiniz.**

## Bilgi Notu

*Bir tepkimenin hız denkleminde derişimlerin üstel kuvvetlerinin toplamı tepkime mertebesini, net tepkimede tepkimeye girenlerin stokiyometrik katsayıları toplamı tepkime moleküleritesini verir. Örnek 3'te, tepkimenin mertebesi 1, moleküleritesi 3'tür.*



*Şekil 5.2.1:* $F_2(g) + 2ClO_2(g) \longrightarrow 2FClO_2(g)$ tepkimesinin molekül modeli ile gösterimi

### Çözüm 3

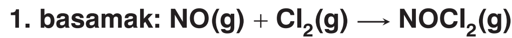
Mekanizmalı yani çok basamaklı bir tepkimenin hızını yavaş basamak belirler. Bu nedenle hız denklemi yavaş basamağa göre yazılır. Tepkimenin hız denklemi şöyledir:

$r = k\,[NO_2F_2]$

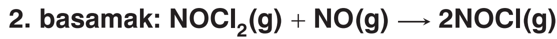
Hız denklemine göre tepkime birinci mertebedendir.

### Alıştırma 2

**Bir tepkimenin mekanizmasının aşağıdaki basamaklar üzerinden yürüdüğü öngörülmektedir:**



**1. basamak:** $NO(g) + Cl_2(g) \longrightarrow NOCl_2(g)$



**2. basamak:** $NOCl_2(g) + NO(g) \longrightarrow 2NOCl(g)$

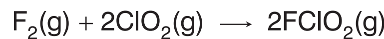
**Deneysel verilerden türetilen tepkimenin hız denklemi, $r = k\,[NO]\,[Cl_2]$ olduğuna göre;**

**a) Tepkimenin mertebesini belirtiniz.**

**b) Mekanizmadaki basamakların hızlarını karşılaştırınız.**

**c) Net tepkime denklemini yazınız.**

Net tepkimenin hızı, tepkimeye girenlerin derişimine bağlıdır. Tepkimeye girenlerin tepkime hızına etkisini incelemenin bir yolu, başlangıç hızının, başlangıç derişimlerine nasıl bağlı olduğunu belirlemektir. Şimdi, bir tepkimenin hız denkleminin nasıl belirlendiğini, sabit sıcaklıkta ve kapalı kapta $F_2$ ve $ClO_2$ gazları arasında gerçekleşen aşağıdaki net tepkimeyi ele alarak anlamaya çalışalım (Şekil 5.2.1).



$F_2(g) + 2ClO_2(g) \longrightarrow 2FClO_2(g)$

Yukarıdaki tepkimeye ilişkin aşağıdaki deneysel verileri irdeleyerek net tepkimenin hız denklemini bulalım.

| Deney numarası | $[F_2]$ (mol/L) | $[ClO_2]$ (mol/L) | Başlangıç hızı (mol/L s) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,10 | 0,01 | $1,2 \cdot 10^{-3}$ |
| 2 | 0,10 | 0,04 | $4,8 \cdot 10^{-3}$ |
| 3 | 0,20 | 0,01 | $2,4 \cdot 10^{-3}$ |

Tablodaki verilere göre 1 ve 3. deneylerde $ClO_2$ derişimi sabit tutulup $F_2$ derişimi değiştirilmiştir. Bu nedenle hızda meydana gelen değişim, $F_2$'un derişimindeki değişimden kaynaklanmaktadır. $ClO_2$ derişimi sabit tutulup $F_2$'un derişimi iki kat artırıldığında başlangıç hızı da iki kat artmaktadır.

$$\frac{3.\text{ deneydeki }[F_2]}{1.\text{ deneydeki }[F_2]} = \frac{0,20}{0,10} = 2$$

$$\frac{3.\text{ deneydeki başlangıç hızı}}{1.\text{ deneydeki başlangıç hızı}} = \frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 10^{-3}} = 2$$

Buna göre tepkime hızı $F_2$ derişiminin 1. üstel kuvveti ile doğru orantılıdır. Bu ifade, r $\alpha$ $[F_2]$ şeklinde gösterilebilir.

1 ve 2. deneylere göre $F_2$ derişimi sabit tutulup $ClO_2$ derişimi dört kat artırıldığında başlangıç hızı da dört kat artmaktadır.

$$\frac{2.\text{ deneydeki }[ClO_2]}{1.\text{ deneydeki }[ClO_2]} = \frac{0,04}{0,01} = 4$$

$$\frac{2.\text{ deneydeki başlangıç hızı}}{1.\text{ deneydeki başlangıç hızı}} = \frac{4,8 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 10^{-3}} = 4$$

Buna göre tepkime hızı $ClO_2$ derişiminin 1. üstel kuvveti ile doğru orantılıdır. Bu ifade, r $\alpha$ $[ClO_2]$ şeklinde gösterilebilir.

O hâlde, tepkimenin hızı hem $F_2$ hem de $ClO_2$ derişiminin her birinin 1. üstel kuvveti ile doğru orantılıdır ve tepkimenin hız denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$r = k\,[F_2]\,[ClO_2]$

Hız denklemine göre tepkimenin hızı, $F_2$ ve $ClO_2$ derişimlerinin 1. üstel kuvvetine bağlıdır ve tepkime ikinci mertebedendir.

$F_2$ ve $ClO_2$ arasında gerçekleşen net tepkime tek basamaklı bir tepkime gibi düşünülüp hız denklemi yazılacak olursa $r = k\,[F_2]\,[ClO_2]^2$ hız denklemi elde edilir. Oysa deneysel verilere göre $r = k\,[F_2]\,[ClO_2]$ hız denklemi elde edilmektedir. Buradan şu sonuç çıkarılabilir: $F_2$ ve $ClO_2$ arasında gerçekleşen tepkime ara basamaklardan oluşan mekanizmalı bir tepkimedir.

Hız denklemindeki "k" sabitinin değeri deneydeki veriler kullanılarak hesaplanabilir. Sayfa 196'daki tabloda 1. deneyin verileri kullanılarak $r = k\,[F_2]\,[ClO_2]$ hız denkleminden "k" değerini hesaplayalım.

$$k = \frac{r}{[F_2][ClO_2]} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{0,10 \cdot 0,01} = 1,2\ \text{L/mol s}$$

2 ve 3. deneyler için de hesaplanacak hız sabiti "k" değeri 1. deney için hesaplanan "k" hız sabiti değeriyle aynıdır.

**Örnek 4**

**Belirli bir sıcaklıkta $NO_2$ ve CO gazları arasında gerçekleşen net tepkime şöyledir:** $NO_2(g) + CO(g) \longrightarrow NO(g) + CO_2(g)$

### Bilgi Notu



*Tepkime derişiminin tepkime hızına etkisi, genellikle başlangıç hızının başlangıç derişimine nasıl bağlı olduğu belirlenerek yapılır. Başlangıç hızını belirlemenin nedenlerinden biri, tepkimede oluşacak ürünlerin varlığının hızı etkileme ihtimalidir. Bir diğer neden ise tersine yürüyebilecek tepkimelerdeki hız ölçümlerinde hata ihtimalidir. Bu iki neden tepkimenin başlangıç aşamasında nadiren görülür.*

### Uyarı



*Deneysel verilerden bir tepkimenin hız denklemi belirlendikten sonra, "k"nin değeri, deneylerden herhangi birindeki değerler kullanılarak belirlenebilir.*

**Aynı sıcaklıkta elde edilen deneysel veriler ise aşağıdaki gibidir:**

| Deney numarası | $[NO_2]$ (mol/L) | [CO] (mol/L) | Başlangıç hızı (mol/L s) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,04 | 0,01 | $2,4 \cdot 10^{-3}$ |
| 2 | 0,08 | 0,01 | $9,6 \cdot 10^{-3}$ |
| 3 | 0,08 | 0,02 | $9,6 \cdot 10^{-3}$ |

**Buna göre tepkimenin hız sabitini hesaplayınız.**

**Çözüm 4**

Deneysel verilere göre tepkimenin başlangıç hızı, CO derişimi sabit tutulduğunda $NO_2$ derişiminin ikinci kuvveti ile doğru orantılıdır. $NO_2$ derişimi sabit tutulduğunda ise CO derişiminin değişimi ile başlangıç hızı değişmemektedir. Buna göre tepkimenin hızı;

$r = [NO_2]^2$ şeklindedir.

1, 2 veya 3 numaralı deneylerden birinin verileri kullanılarak hız sabiti "k" değeri hesaplanabilir. 1. deneyi dikkate alarak hız sabiti "k" değerini hesaplayalım.

$$r = k[NO_2]^2 \Rightarrow k = \frac{r}{[NO_2]^2} = \frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{(0,04)^2} = 1,5 \text{ L/mol s}$$

## 5.2.4 TEPKİME HIZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Kimyasal tepkimeler üzerinde yapılan deneysel incelemeler tepkime hızına madde cinsi, derişim, sıcaklık, katalizör ve temas yüzeyi gibi faktörlerin etki ettiğini göstermiştir. Şimdi, tepkime hızına etki eden faktörleri açıklayalım.

### Madde Cinsinin Tepkime Hızına Etkisi

Tepkimeye girenlerin kimyasal türleri ve sayıları göz önünde tutularak tepkimenin hızı hakkında aşağıdaki tahminlerde bulunulabilir:

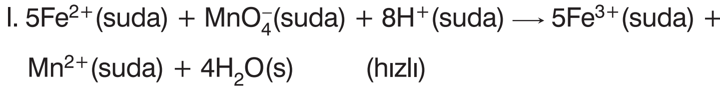
- Zıt yüklü ve tek atomlu iyonlar arasında gerçekleşen tepkimeler genellikle çok hızlıdır. Çünkü bu tür tepkimelerde bağ kırılması gerçekleşmez. Zıt yüklü iyonlar arasında elektrostatik etkileşim kuvveti gerçekleşir. Bu etkileşim kuvveti sayesinde güçlü kimyasal bağ türlerinden biri olan iyonik bağ oluşur. Aynı yüklü iyonlar arasındaki tepkimeler de çok hızlıdır. Ancak aynı yüklü iyonlar arasındaki tepkimeler zıt yüklü iyonlar arasındaki tepkimelere göre daha yavaştır. Örneğin aşağıdaki iki tepkimeyi ele alalım:

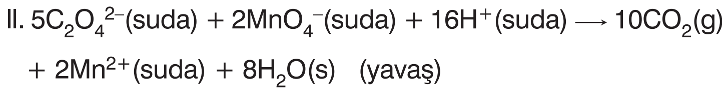

I. $Ag^+(suda) + Cl^-(suda) \longrightarrow AgCl(k)$ (çok hızlı)


II. $Fe^{2+}(suda) + Ce^{4+}(suda) \longrightarrow Fe^{3+}(suda) + Ce^{3+}(suda)$ (hızlı)

I. tepkime zıt yüklü iyonlar arasında gerçekleştiğinden çok hızlıdır. II. tepkime de çok hızlı olmakla birlikte aynı yüklü iyonlar arasında gerçekleştiğinden zıt yüklü iyonlar arasındaki tepkimelere göre daha yavaştır.

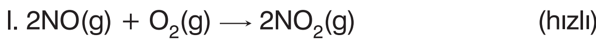
• Çok atomlu iyonlar arasındaki tepkimeler genellikle hızlıdır. Ancak çok atomlu iyonlar arasındaki tepkimelerde, kimyasal tür sayısı ve kırılacak kimyasal bağ sayısı arttıkça tepkime hızı daha yavaştır. Örneğin aşağıdaki iki tepkimeyi ele alalım:


I. $5Fe^{2+}(suda) + MnO_4^-(suda) + 8H^+(suda) \longrightarrow 5Fe^{3+}(suda) + Mn^{2+}(suda) + 4H_2O(s)$ (hızlı)


II. $5C_2O_4^{2-}(suda) + 2MnO_4^-(suda) + 16H^+(suda) \longrightarrow 10CO_2(g) + 2Mn^{2+}(suda) + 8H_2O(s)$ (yavaş)

I ve II. tepkimeler çok atomlu iyonlar arasında gerçekleştiğinden genellikle hızlıdır. I. tepkimede, tepkimenin gerçekleşebilmesi için 14 kimyasal türün etkin çarpışması ve yalnızca $MnO_4^-$ iyonundaki kimyasal bağların kırılarak yeni kimyasal bağların oluşması gerekmektedir. Oysa II. tepkimede, tepkimenin gerçekleşebilmesi için 23 kimyasal türün etkin çarpışması ayrıca $C_2O_4^{2-}$ ve $MnO_4^-$ iyonlarında kimyasal bağların kırılarak yeni kimyasal bağların oluşması gerekmektedir. Tepkimede hem kimyasal türlerin hem de kırılacak kimyasal bağ sayısının fazla olması nedeniyle II. tepkime I. tepkimeye göre daha yavaştır.

• Moleküller arasında gerçekleşen tepkimeler genellikle yavaştır. Ancak moleküller arasında gerçekleşen tepkimelerde, kimyasal tür sayısı ve kırılacak kimyasal bağ sayısı arttıkça tepkime hızı daha yavaştır. Örneğin aşağıdaki iki tepkimeyi ele alalım:

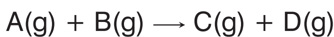

I. $2NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$ (hızlı)


II. $4NH_3(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 4NO(g) + 6H_2O(s)$ (yavaş)

I ve II. tepkimeler moleküller arasında gerçekleşen tepkimelerdir ve genellikle yavaş gerçekleşir. Ancak II. tepkimede hem kimyasal tür hem de kırılacak kimyasal bağ sayısı I. tepkimeye göre daha fazla olduğundan II. tepkime I. tepkimeye göre daha yavaştır.

## Derişimin Tepkime Hızına Etkisi

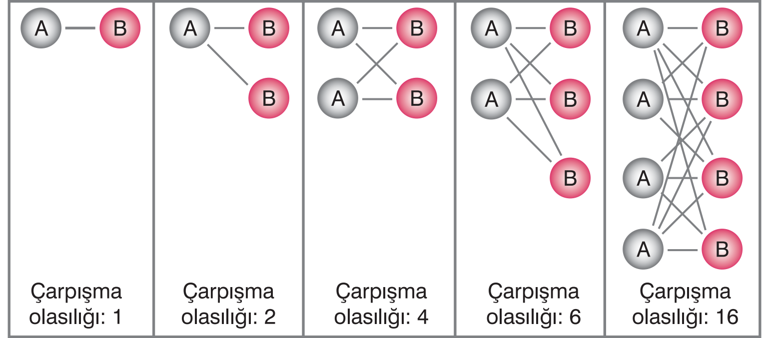
Kimyasal bir tepkimenin gerçekleşebilmesi için tepkimeye girenlerin çarpışması gerekir. Kapalı bir kapta gaz fazında gerçekleşen aşağıdaki tepkimeyi göz önünde bulunduralım:


$A(g) + B(g) \longrightarrow C(g) + D(g)$

Bu tepkimeye ilişkin teorik olarak hız denkleminin hem A'nın hem de B'nin derişimine bağlı olarak ifade edildiğini kabul edelim. Şekil 5.2.2'de tepkimeye girenlerin derişimine bağlı olarak çarpışma olasılığı gösterilmiştir.

**Bilgi Notu**

*Ludwig Wilhelmy (Ludvig Vilhemi, 1812-1864) tepkime hızının ilk nicel çalışmalarını yayınlayan bilim insanıdır. 1850 yılındaki deneysel çalışmalarında, sakkarozun asit katalizörlü ortamda hidrolizi (glikoza ve fruktoza ayrışması) sırasında derişimin tepkime hızına etkisini fark etmiştir.*




***Şekil 5.2.2:*** Derişimin çarpışma olasılığına bağlılığı

Daha önceden ifade edildiği gibi tepkimenin hızı, tepkimeye girenlerin derişimi ile doğru orantılıdır. Şekil 5.2.2'de de anlaşılacağı gibi tepkimeye girenlerin derişiminin artması etkin çarpışma olasılığını artırır. Bu da etkin çarpışma sayısının artması anlamına gelir. Bir tepkimede etkin çarpışma sayısı artarsa buna bağlı olarak tepkimenin hızı da artar.

**Unutmayalım**

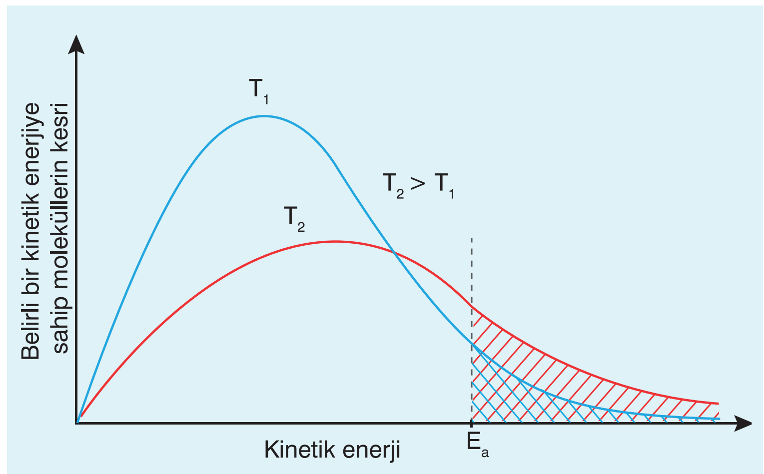
*Bir tepkimenin hız sabitinin "k" değeri sıcaklık sabit olduğu sürece sabittir.*

### Sıcaklığın Tepkime Hızına Etkisi

Kimyasal tepkimelerin hızları genellikle sıcaklığa karşı oldukça hassastır. Deneysel gözlemler, sıcaklıktaki 10 °C'luk bir artışın birçok tepkime hızını 2 kattan fazla artırdığını göstermektedir. Tepkimelerin yüksek oranda sıcaklık hassasiyetine bağlılığı nasıl açıklanabilir? Bu sorunun cevabını Grafik 5.2.2'deki en az aktifleşme enerjisi kadar bir enerjiye sahip moleküllerin kesrine sıcaklığın etkisini inceleyerek cevap vermeye çalışalım.

**Biliyor musunuz?**

*Günlük deneyimlerde sıcaklığa bağlı olarak biyokimyasal tepkimelerin bazılarının hızlanması bazılarının ise yavaşlaması arzu edilir. Örneğin yemeği pişirirken meydana gelen biyokimyasal tepkimelerin hızlanması için yemek ısıtılarak sıcaklığı artırılır, yiyeceklerin bozulmasını önlemek için yiyecek buzdolabında soğutularak sıcaklığı azaltılır.*




***Grafik 5.2.2:*** En az aktivasyon enerjisi kadar bir enerjiye sahip moleküllerin kesrine sıcaklığın etkisi.

Grafik 5.2.2 incelendiğinde biri düşük $T_1$ sıcaklığında, diğeri de yüksek $T_2$ sıcaklığında olmak üzere moleküllerin kesrini gösteren iki enerji dağılım eğrisi görülmektedir. Grafikte ayrıca tepkime için gerekli olan aktifleşme enerjisi ($E_a$) de belirtilmiştir. Enerji dağılım eğrisinin altındaki mavi taralı alan $T_1$ sıcaklığında en az aktifleşme enerjisi kadar bir enerjiye sahip moleküllerin kesrini, enerji dağılım eğrisinin altındaki kırmızı taralı alan $T_2$ sıcaklığında en az aktifleşme enerjisi kadar bir enerjiye sahip moleküllerin kesrini vermektedir. $T_2$ sıcaklığında tepkime verebilecek molekülerin kesri, $T_1$ sıcaklığında tepkime verebilecek moleküllerin kesrinden fazladır. Bunun anlamı şudur: Tepkimenin sıcaklığı arttığında aktifleşme enerjisi engelini aşacak belirli bir kinetik enerjiye sahip moleküllerin sayısı da artar. Bu durum tepkimenin hızını da artırır.

## Katalizörün Tepkime Hızına Etkisi

Endüstriyel faaliyetlerde ürünün hızlı, bol miktarda ve en az maliyetle üretilmesi istenilen bir durumdur. Bunu gerçekleştirmenin yollarından biri, tepkimelerin daha hızlı gerçekleşmesini sağlayacak adına katalizör denilen bazı özel maddelerin tepkime ortamına eklenmesidir. Tepkime ortamına eklendiğinde tepkimenin daha düşük aktifleşme enerjili bir yol (mekanizma) izlemesini sağlayarak tepkime hızını artıran maddelere **katalizör** denir. Aktifleşme enerjisini artırarak tepkimeleri yavaşlatan maddelere ise **inhibitör** denir.

Katalizörlerin bazı özellikleri şunlardır:

- İleri ve geri yöndeki tepkimenin aktifleşme enerjisini aynı miktarda azaltır. Dolayısıyla hem ileri hem de geri tepkimeyi hızlandırır.
- İleri ve geri yöndeki tepkimenin aktifleşme enerjisini aynı miktarda azalttığından, "$\Delta H = E_{ai} - E_{ag}$" eşitliği gereği tepkime ısısını değiştirmez.
- Tepkimeye girdiklerinde çoğu zaman fiziksel özellikleri değişse bile kimyasal özelliği değişmez.
- Gerçekleşmeyecek bir tepkimeyi gerçekleştirmez.
- Tepkimeye girer fakat tepkimeden değişmeden çıkar. Bu nedenle net tepkime denkleminde yer almaz.
- Oluşacak ürün miktarını yani verimi etkilemez. Ancak ürünün daha kısa sürede oluşmasını sağlar.
- Tepkimeye girenlerin ve ürünlerin bileşimlerini değiştirmez.

Katalizör, tepkime hızını artırırken tepkimeye girenlerin ve ürünlerin bileşimlerini değiştirmediğine göre çok az miktarı bile tepkimenin hızını nasıl değiştirmektedir?

**Biliyor musunuz?**



*Katalizör sözcüğü, "bir araya gelerek bozmak" anlamına gelen Yunanca kelimelerden türetilmiştir.*

**Biliyor musunuz?**



*Katalizörler, homojen ve heterojen olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Homojen katalizörler tepkimeye girenlerle aynı fazdadır. Heterojen katalizörler ise tepkimeye girenlerle farklı fazdadır.*

## Biliyor musunuz?

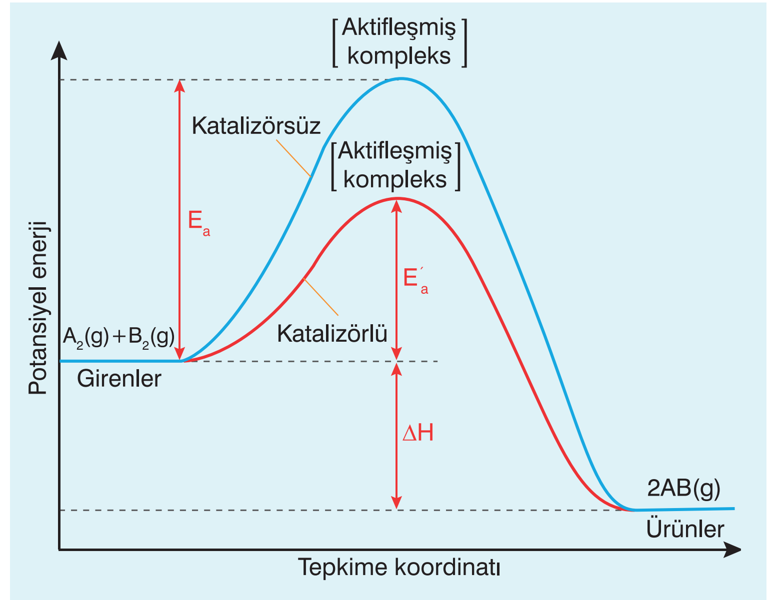


*Bir yol benzetmesi yapılırsa tepkimeye katalizör eklenmesi, gidilecek yere daha uzun bir sürede, dolambaçlı dağ yolundan gitmek yerine, daha kısa sürede, dağ içinden geçen bir yoldan (tünelden) gitmeye benzetilebilir.*



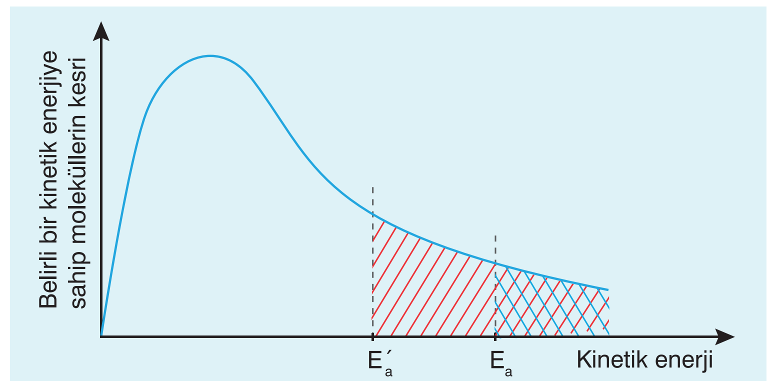


$A_2(g) + B_2(g) \longrightarrow 2AB(g)$ tepkimesinin katalizörlü ve katalizörsüz gerçekleşmesine ilişkin potansiyel enerji-tepkime koordinatı verilen Grafik 5.2.3'ü inceleyerek bu soruya cevap bulmaya çalışalım.




**Grafik 5.2.3:** Katalizörlü ve katalizörsüz bir tepkimenin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği

Grafik 5.2.3'teki katalizörsüz tepkimenin aktifleşme enerjisi $E_a$, katalizörlü tepkimenin aktifleşme enerjisi ise $E_a'$ kadardır. Grafikten, $E_a'$ değerinin $E_a$ değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Katalizör, tepkimenin aktifleşme enerjisini düşürerek etkin çarpışma yapan molekül kesrini artırır. Böylece tepkimeye giren moleküllerin daha fazlası yeni bir yol (mekanizma) izleyerek hızlı bir şekilde ürünleri oluşturur. Grafik 5.2.4'te ise katalizörlü ve katalizörsüz bir tepkimede belirli bir kinetik enerji engelini aşan moleküllerin kesri verilmiştir. İnceleyiniz.




**Grafik 5.2.4:** Katalizörlü ve katalizörsüz tepkimede tepkimeye giren moleküllerin mol kesri-kinetik enerji grafiği

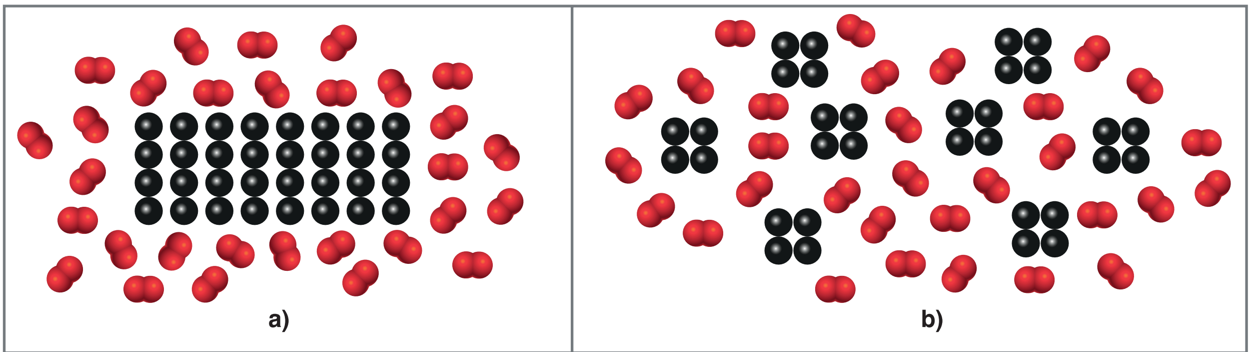
Grafik 5.2.4'ten de anlaşılacağı gibi katalizörlü tepkimede aktifleşme enerjisine ($E_a'$) sahip moleküllerin kesri, katalizörsüz tepkimede aktifleşme enerjisine ($E_a$) sahip moleküllerin kesrine göre daha fazladır. Dolayısıyla katalizörlü tepkimede etkin çarpışma sayısı, katalizörsüz tepkimedeki etkin çarpışma sayısından daha fazla olacağından ürün oluşumu da daha hızlı olacaktır.

## Temas Yüzeyinin Tepkime Hızına Etkisi

Karbon katısı yani kömür gibi yanıcı maddelerin yanma tepkimesinin başlaması için önemli bir aktifleşme enerjisine ihtiyaç vardır. Aktifleşme enerjine ulaşıldığında karbon katısı ve oksijen gazı arasındaki tepkime başlar. Bu tepkime şöyle gerçekleşir:

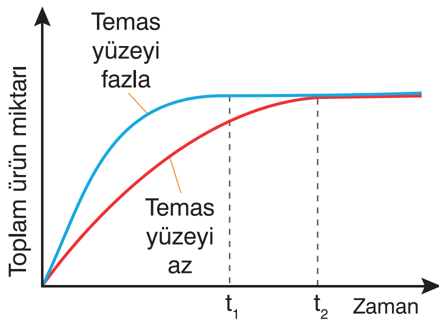

$$C(k) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$$

Karbon katısının yanma tepkimesi ekzotermik bir tepkime olup yanma başladığında, ilk tepkimelerle açığa çıkan enerji, devam edecek tepkimeler için yanmada gerekli olacak aktifleşme enerjisini sağlar. Eğer karbon katısı büyük parçalardan oluşuyorsa oksijen gazı ile yeterli etkileşimi sağlayamayacağından yanma olayı sonlanabilir. Bu etkileşimin sağlanabilmesi için büyük kömür parçalarının küçük parçalara ayrılarak temas yüzeyinin artırılması gerekir. Şekil 5.2.3.a'da büyük bir parçadan oluşan karbon katısının, Şekil 5.2.3.b'de ise küçük parçalara ayrılmış karbon katısının oksijen gazı ile etkileşimine ait tanecik modeli verilmiştir.

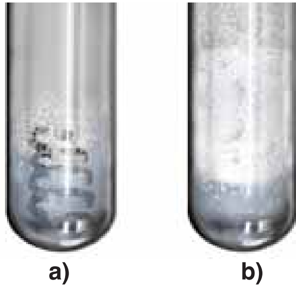



*Şekil 5.2.3:* **a)** Büyük parçalı karbon katısının oksijen gazı ile etkileşiminin tanecik modeli **b)** Küçük parçalardan oluşan karbon katısının oksijen gazı ile etkileşiminin tanecik modeli

Heterojen fazda gerçekleşen karbon katısının oksijen gazı ile yanma tepkimesi oldukça yavaş bir tepkimedir. Kimyasal tepkimelerde tepkimeye girenlerin farklı fazlarda olduğu heterojen faz tepkimelerinde tepkimenin hızı, temas yüzeyine bağlı olarak



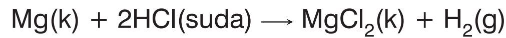

*Grafik 5.2.5:* Temas yüzeyinin tepkime hızına etkisi




*Resim 5.2.1:* **a)** Büyük parçadan oluşan magnezyumun hidroklorik asit çözeltisi ile etkileşimi **b)** Küçük parçalardan oluşan magnezyumun hidroklorik asit çözeltisi ile etkileşimi

değişir. Tepkimede katı fazdaki girenlerin temas yüzeyinin artması etkin çarpışma sayısını artırır. Etkin çarpışma sayısının artması ise tepkime hızının artmasına neden olur. Grafik 5.2.5'te de görüleceği gibi aynı miktarlarda ve aynı şartlarda girenlerden temas yüzeyi fazla olanın tepkimesinde ürün daha kısa sürede ($t_1$) elde edilmekte ve tepkime daha hızlı olmaktadır. Oysa girenlerden temas yüzeyi az olanın tepkimesinde ürün daha uzun sürede ($t_2$) elde edilmekte ve tepkime de daha yavaş olmaktadır.

Temas yüzeyinin tepkime hızına etkisine bir diğer örnek, magnezyum katısının hidroklorik asit çözeltisiyle verdiği tepkimedir. Bu tepkime şöyle gerçekleşir:



$$Mg(k) + 2HCl(suda) \longrightarrow MgCl_2(k) + H_2(g)$$

Bu tepkimede büyük parçadan oluşan katı magnezyumda temas yüzeyi az olacağından sadece yüzeydeki magnezyum atomları ile hidroklorik asit çözeltisi etkileşir. Bu nedenle etkin çarpışma sayısı az olacağından tepkime daha yavaş olur ve hidrojen gazı çıkışı da yavaştır. Büyük parçadan oluşan magnezyum küçük parçalara ayrıldığında temas yüzeyi artacağından etkin çarpışma sayısı da artar ve tepkime hızlı gerçekleşeceğinden hidrojen gazı çıkışı da hızlanır (Resim 5.2.1).

## OKUMA PARÇASI: Prof. Dr. Oktay Sinanoğlu Kimdir?



*Resim 5.2.2:* Prof. Dr. Oktay SİNANOĞLU

Oktay Sinanoğlu (Resim 5.2.2), babasının Türkiye Başkonsolosu olarak görev yaptığı İtalya'nın Bari şehrinde 1935 yılında dünyaya geldi. II. Dünya Savaşı'nın başlaması nedeniyle 1939 yılında İtalya'dan ayrılarak ailesiyle birlikte Türkiye'ye döndü. Daha sonra adı Türk Eğitim Derneği (TED) Ankara Koleji olarak değiştirilen Türk Maarif Cemiyeti Ankara Yenişehir Lisesi'ni burslu olarak okudu ve liseyi birincilikle tamamladı. 1953 yılında okulun bursuyla kimya mühendisliği eğitimi almak üzere ABD'deki Kaliforniya Üniversitesi'ne gitti. 1956 yılında Berkeley Kimya Mühendisliğinden birincilikle mezun odu. Üniversite eğitiminin ardından girdiği Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nü sekiz ay gibi kısa bir sürede birincilikle tamamlayarak 1957 yılında yüksek kimya mühendisi oldu. 1959 yılında Berkeley'de kuramsal kimya dalında doktorasını tamamladı. 1960 yılında Yale Üniversitesi'nde öğretim üyesi oldu ve 1963 yılında 50 yıldır çözülemeyen bir matematik kuramını bilim dünyasına kazandırarak 28 yaşında en genç profesör unvanını aldı. Yale Üniversitesi'nde 37 sene çalıştıktan sonra, 1997 yılında emekli oldu.

Oktay Sinanoğlu, Yale Üniversitesi'nde çalıştığı süreler içerisinde aklın ve bilimin ışığında yürüyen bir vatansever olarak ülkesiyle, kültürüyle ve milletiyle bağlarını hiçbir zaman koparmamış, çeşitli Türk üniversitelerine ve TÜBİTAK'a danışmanlık yapmıştır. 1975 yılında Oktay Sinanoğlu'nun adına çıkartılan özel bir kanunla devlet tarafından kendisine "Türkiye Cumhuriyeti Profesörü" unvanı verilmiş, Türkiye'ye döndükten sonra Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü'nde bilimsel çalışmalarını bir süre devam ettirerek öğrencilere ve akademik çevreye bilgi ve birikimlerini aktarmıştır.

Oktay Sinanoğlu yurt içinde ve yurt dışında sayısız konferanslara katıldı ve birçok ödüller aldı. Kendisi iki defa Nobel Ödülü'ne aday gösterildi ve Nobel Akademisinin isteği üzerine Nobel'e bilim dünyasından adaylar gösterdi. Kuramsal kimyacı, moleküler biyokimyacı ve biyofizikçi unvanlarına sahip Oktay Sinanoğlu'nun 250'ye yakın uluslararası bilimsel yayını, bilimsel kuramları, çeşitli dillere çevrilmiş kitapları vardır. Akademik çalışmaları içesinde en önemli beş bilimsel kuramı şunlardır: Atom ve moleküllerin çok elektronlu kuramı (1961), çözgeniter kuramı (1964), kimyasal tepkime mekanizmaları kuramı (1974), mikrotermodinamik (1981), değerlik kabuğu etkileşim kuramı (1983).

Oktay Sinanoğlu'nun kimyasal tepkime mekanizmaları üzerine yaptığı bazı çalışmaların konu başlıkları ise şöyledir:

- Kimyasal Tepkime Ağları Teorisi: Belirli Sayıda Tepkime Adımı veya Türe Sahip Tüm Olası Mekanizmalar veya Sentetik Yollar
- Kimyasal Mekanizmalar, Yollar ve Döngüler için Otokatalitik ve Diğer Genel Ağlar: Sistematik ve Topolojik Jenerasyonları
- Belirli Bir Genel Tepkime Türü için Tüm Olası Mekanizmalarının Bulunması

Oktay Sinanoğlu'nun akademik alandaki yayınları ve eserlerinin yanı sıra Bye Bye Türkçe, Hedef Türkiye, Türkçe Giderse Türkiye Gider gibi Türk Dili'nin önemini anlatan eserleri de bulunmaktadır. Oktay Sinanoğlu her çeşit bilim dalında eğitim ve öğretimin ana dille yapılmasının bilimde ilerleme için temel şart olduğuna inanmaktadır. Eserlerinde yabancı dille yapılan bir eğitimle bilimde ilerlemenin ve gelişmenin mümkün olamayacağına, bilimde evrensellik hedefine ancak ana dille yani Türkçeyle bilim ve öğretim yaparak ulaşılabileceğine vurgu yapmaktadır. "Yaratıcılık kişinin, ulusun ve toplumun en derinliklerinden gelen bir güçtür. Bu gücün gelişmesindeki en önemli etken ise kişiliğin ve kültürün derinliklerinden gelen serbest çağrışımı destekleyecek olan ana dildir." diyerek ana dilin önemini ifade etmiştir.

Oktay Sinanoğlu, Türkiye ve Türkçe sevdalısı bir insan olarak ve geride birçok eserler bırakarak hastalığı nedeniyle tedavi gördüğü ABD'de 2015 yılında hayata gözlerini yumdu.

Kaynaklar:

*https://bau.edu.tr/icerik/34-konferans-oktay-sinanoglu* (Erişim tarihi: 23.05.2018).

*https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja00842a001* (Erişim tarihi: 25.05.2018).

*https://link.springer.com/article/10.1007/BF02394587* (Erişim tarihi: 24.05.2018).

*https://www.matematiksel.org/turk-diyarindan-bir-dahi-gecti-oktay-sinanoglu/* (Erişim tarihi: 22.05.2018).

# 5. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

**A.** ***Aşağıdaki metinde numaralandırılmış boşlukları kutuda verilen kelimelerden uygun olanlar ile tamamlayınız.***

yeterli enerjiye, **mol/L s**, etkin çarpışma, **etkin olmayan çarpışma**, derişimdeki, **potansiyel enerji**, sıcaklık, **aktifleşme enerjisidir**, tepkime hızı, **çarpışma teorisi**

Bir kimyasal tepkimenin gerçekleşebilmesi için girenlerin çarpışmaları ve belirli bir enerji engelini aşmaları gerekir. Bu durum, ........................ (1) ile açıklanır. Çarpışma teorisi iki şartın sağlanmasını gerektirir. Birincisi çarpışan moleküller ........................ (2) yani yeterli hıza sahip olmalıdır. İkincisi de çarpışan moleküller birbirlerine göre uygun bir yönlenmeye sahip olmalıdır. Eğer tepkimeye girenler yeterli enerjiye ve uygun yönlenmeye sahipse ........................ (3) gerçekleşir ve bir tepkime meydana gelir. Tersine, tepkimeye girenler yeterli enerjiye ve uygun yönlenmeye sahip değilse ........................ (4) gerçekleşir ve bir tepkime meydana gelmez. Tepkimenin gerçekleşebilmesi için girenlerin etkin çarpışmaları dışında belirli bir enerji engelini de aşmaları gerekir. Bu enerji engeli ........................ (5). Aktifleşme enerjisi girenler ile ürünler arasındaki bir ........................ (6) engelidir.

Girenlerin ya da ürünlerin miktarının birim zamandaki değişimi ........................ (7) olarak adlandırılır. Girenlerin ya da ürünlerin miktarı olarak ........................ (8), mol sayısındaki, kütledeki ya da gaz maddeler için normal şartlarda hacimdeki değişim değerleri kullanılır. Bu değişimlerden herhangi birinin zamandaki değişime bölünmesiyle tepkime hızı hesaplanır. Kimyasal tepkimelerin hızı incelenirken madde miktarındaki değişim olarak genellikle derişim birimi kullanılır. Buna göre tepkime hızının birimi de ........................ (9) olarak ifade edilir.

Bir kimyasal tepkimenin etkin çarpışma sayısını artıran faktörler tepkimenin hızını da artırmaktadır. Tepkime hızına etki eden faktörler şunlardır: Madde cinsi, derişim, ........................ (10), katalizör ve temas yüzeyidir.

**B.** ***Aşağıda verilen ifadeleri okuyunuz. İfadeler doğru ise "D", yanlış ise "Y" harfini işaretleyiniz.***

Ⓓ Ⓨ **1.** Kimyasal tepkimelerde girenlerin bütün çarpışmaları bir tepkime ile sonuçlanır.

Ⓓ Ⓨ **2.** Etkin bir çarpışmada tepkimeye girenler belirli bir enerjiye ve uygun bir yönlenmeye sahip olmalıdır.

Ⓓ Ⓨ **3.** Tepkimeye girenlerden ürünler oluşmadan önce tepkimeye giren moleküllerin bağlarının kısmen kırıldığı ve kısmen yenilerinin oluştuğu, yüksek enerjili ve kısa ömürlü bir ara hâl olan geçiş hâli oluşur.

Ⓓ Ⓨ **4.** Kimyasal tepkimelerde yüksek enerjili ve kısa ömürlü ara ürün aktifleşmiş kompleks olarak adlandırılır.

Ⓓ Ⓨ **5.** Tepkimeye girenlerin fiziksel hâllerinin farklı olduğu tepkimeler homojen tepkimelerdir.

Ⓓ Ⓨ **6.** Bir tepkimenin hız ifadesinde yer alan "k"nin sayısal değeri tepkimeye girenlerin derişimine bağlıdır.

Ⓓ Ⓨ **7.** Çok basamaklı tepkimelerde hız belirleyen basamak yavaş basamaktır.

Ⓓ Ⓨ **8.** Katalizörler tepkimenin aktifleşme enerjisini azaltarak tepkimenin hızını artırır.

## C. *Aşağıdaki soruları cevaplayınız.*

**1.** Kimyasal tepkimeler ile tepkimeye giren kimyasal türlerin çarpışmaları arasında nasıl bir ilişki olduğunu açıklayınız.

**2.** Aktifleşme enerjisi nedir? $A_2 + B_2 \longrightarrow 2AB$ gibi genel bir tepkimeye ilişkin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği üzerinde, ileri ve geri aktifleşme enerjisi ile tepkime entalpisini göstererek açıklayınız.

**3.** Tepkime hızına etki eden faktörler nelerdir? Bu faktörlerin tepkime hızına etkisini kısaca açıklayınız?

**4.** $2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g)$ tepkimesinde her bir maddenin ortalama hız ifadesini yazınız.

**5.** 5 L'lik tepkime kabına 0,56 g $N_2$ gazı ve yeterince $H_2$ gazı konularak aşağıdaki tepkime gerçekleştiriliyor:

$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$

200 saniye sonunda tepkimede 0,28 g $N_2$ gazı bulunduğuna göre;

**a)** Tepkimede $N_2$ gazının ortalama harcanma hızını hesaplayınız *(N: 14 g/mol)*.

**b)** Tepkimede $NH_3$ gazının ortalama oluşma hızını hesaplayınız.

**6.** $2NO(g) + F_2(g) \longrightarrow 2NOF(g)$ tepkimesine ilişkin deneysel sonuçlar aşağıda verilmiştir:

| Deney numarası | [NO] (mol/L) | $[F_2]$ (mol/L) | Başlangıç hızı (mol/L s) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,1 | 0,1 | 0,006 |
| 2 | 0,1 | 0,2 | 0,012 |
| 3 | 0,2 | 0,1 | 0,012 |

Buna göre aşağıdaki istenilenleri cevaplayınız.

**a)** Tepkimenin hız denklemini yazınız.

**b)** Tepkimenin mertebesini ve moleküleritesini belirtiniz.

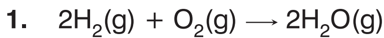
## Ç. *Aşağıdaki tabloda verilen tepkimeleri inceleyiniz. Tepkimelerde hızın ölçümünde kullanılabilecek değişimi yazarak nedenini kısaca açıklayınız.*

| Tepkime | Tepkime hızının ölçümünde kullanılabilecek değişim | Neden? |
|---|---|---|
| **a)** $H^+(suda) + OH^-(suda) \longrightarrow H_2O(s)$ | | |
| **b)** $2NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$<br>Renksiz Renksiz Açık kahverengi | | |
| **c)** $C_2H_2(g) + 2H_2(g) \longrightarrow C_2H_6(g)$ (P, T sabit) | | |
| **ç)** $Fe(k) + 2HCl(suda) \longrightarrow FeCl_2(suda) + H_2(g)$ | | |
| **d)** $2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g)$ (V, T sabit) | | |

## D. Aşağıda verilen ifadeleri kavramlarla eşleştiriniz.

| İfade | Kavram | Eşleştirme |
|---|---|---|
| **1.** Bir tepkime vermek üzere yeterli enerjiye ve uygun bir yönlenmeye sahip moleküller arasında gerçekleşir. | **a.** Tepkime hızı | ...................... |
| **2.** Bir çarpışmada tepkime oluşabilmesi için gerekli olan en düşük enerjidir. | **b.** Katalizör | ...................... |
| **3.** Girenlerin ya da ürünlerin miktarının birim zamandaki değişimidir. | **c.** Hız denklemi | ...................... |
| **4.** Tepkimeye girenlerin ürünlere dönüşmesinin yer aldığı ara basamaklar serisidir. | **ç.** Ortalama hız | ...................... |
| **5.** Tepkime ortamına eklendiğinde tepkimenin daha düşük aktifleşme enerjili bir yol izlemesini sağlayarak tepkime hızını artıran ve tepkimede değişmeden çıkan maddedir. | **d.** Etkin çarpışma | ...................... |
| **6.** Girenlerin ya da ürünlerin derişiminin belirli bir zaman aralığındaki değişim hızıdır. | **e.** Aktifleşmiş kompleks | ...................... |
| **7.** Hız sabitine ve tepkimeye girenlerin derişimlerinin üstel kuvvetlerine bağlı olduğunu ifade eden eşitliktir. | **f.** Tepkime mekanizması | ...................... |
| **8.** Herhangi bir basamakta oluşan, sonraki basamaklarda harcanarak tepkimede bir rol oynayan fakat net tepkimede yer almayan maddelerdir. | **g.** Tepkime ara ürünü | ...................... |
| | **h.** Aktifleşme enerjisi | |

## E. Aşağıda verilen çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.

**1.** 


**tepkimesine göre $O_2$ ve $H_2O$ gazlarının ortalama hız ifadesi arasındaki ilişki aşağıdakilerin hangisinde doğru verilmiştir?**

**A)** $-\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t}$

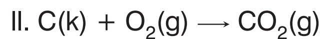
**B)** $\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t}$

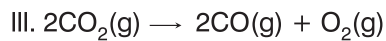
**C)** $-\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t}$

**D)** $\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = 2 \cdot \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t}$

**E)** $\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t}$

**2.** 


**Sabit hacimli kaplarda gerçekleşen yukarıdaki tepkimelerden hangisinin ya da hangilerinin hızı basınç değişiminden yararlanılarak ölçülebilir?**

**A)** Yalnız II  **B)** Yalnız III  **C)** I ve II

**D)** I ve III  **E)** II ve III

3. I. Aynı fiziksel hâle sahip olmalıdır.

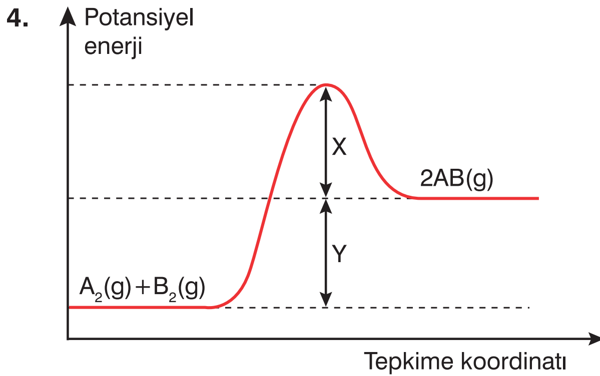
II. Yeterli bir enerjiye sahip olmalıdır.

III. Uygun bir yönlenmeye sahip olmalıdır.

**Kimyasal bir tepkimenin oluşabilmesi için çarpışan taneciklerin yukarıdaki şartlardan hangilerini sağlamaları gerekir?**

**A)** Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III

**D)** II ve III **E)** I, II ve III

4. 


**Yukarıda verilen potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiğine göre;**

I. Y tepkimenin $\Delta H$ değeridir.

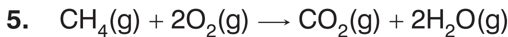
II. İleri tepkime ekzotermiktir.

III. X + Y ileri tepkimenin aktifleşme enerjisidir.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız III **B)** I ve II **C)** I ve III

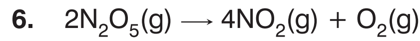
**D)** II ve III **E)** I, II ve III

5. 
$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$

**Yukarıda verilen tepkimeye göre $O_2$ gazı derişiminin 100 ve 300. saniyeler arasındaki değişimi $4 \cdot 10^{-2}$ mol/L'dir. Buna göre tepkimenin ortalama hızı kaç mol/L s'dir?**

**A)** 2 **B)** 0,5 **C)** $2 \cdot 10^{-2}$

**D)** $1 \cdot 10^{-4}$ **E)** $4 \cdot 10^{-6}$

6. 
$2N_2O_5(g) \longrightarrow 4NO_2(g) + O_2(g)$

**Yukarıdaki tepkimeye göre $N_2O_5$ gazının derişimi 400 saniyede 1,2 mol/L'den 0,8 mol/L'ye düşmektedir. Buna göre tepkimede $NO_2$ gazının ortalama oluşma hızı kaç mol/L s'dir?**

**A)** $1 \cdot 10^{-4}$ **B)** $5 \cdot 10^{-4}$ **C)** $2 \cdot 10^{-3}$

**D)** $4 \cdot 10^{-3}$ **E)** $5 \cdot 10^{-2}$

7. **Aktifleşmiş kompleks;**

I. Yüksek enerjili ve kısa ömürlü ara üründür.

II. Tepkimede ayrıştırılabilir veya tespit edilebilir.

III. Atomların kararsız düzenlenmeleri sonucu oluşur.

IV. Kimyasal tepkimelerde geçiş hâlinde oluşur.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** I ve III **B)** I, II ve III **C)** I, III ve IV

**D)** II, III ve IV **E)** I, II, III ve IV

8. **Aşağıdaki tepkimelerden hangisi homojen faz tepkimelerine örnektir?**

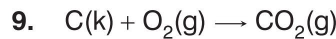
**A)** $Pb^{2+}(suda) + 2I^{-}(suda) \longrightarrow PbI_2(k)$

**B)** $C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(s)$

**C)** $2Na(k) + 2H_2O(s) \longrightarrow 2NaOH(suda) + H_2(g)$

**D)** $SO_3(g) + H_2O(s) \longrightarrow H_2SO_4(suda)$

**E)** $NO_2(g) + CO(g) \longrightarrow NO(g) + CO_2(g)$

9. 
$C(k) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$

**Yukarıdaki tepkimenin hız denklemi aşağıdakilerden hangisidir?**

**A)** $r = k$ **B)** $r = k[C]$ **C)** $r = k[O_2]$

**D)** $r = k[C][O_2]$ **E)** $r = k[C][O_2] / [CO_2]$

10.

| Deney numarası | [NO] (mol/L) | [Cl] (mol/L) | Başlangıç hızı (mol/L s) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,1 | 0,1 | $1{,}6 \cdot 10^{-3}$ |
| 2 | 0,2 | 0,1 | $3{,}2 \cdot 10^{-3}$ |
| 3 | 0,1 | 0,2 | $3{,}2 \cdot 10^{-3}$ |

**Tablodaki verilere göre;**

$2NO(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2NOCl(g)$

**tepkimesinin hız sabiti "k"nin sayısal değeri kaçtır?**

**A)** 0,16 **B)** 0,24 **C)** 0,32 **D)** 0,48 **E)** 0,64

11.

Potansiyel enerji
Girenler
I
II
III
IV
V
Ürünler
Tepkime koordinatı

Bir tepkimenin potansiyel enerji-tepkime koordinatı grafiği yukarıdaki gibidir:

**Buna göre tepkimede katalizör kullanılırsa grafikte Romen rakamlarıyla verilen potansiyel enerji değerlerinden hangilerinde değişme olur?**

**A)** I ve III **B)** II ve IV **C)** I ve V **D)** II ve V **E)** III ve IV

12. $CaO(k) + CO_2(g) \longrightarrow CaCO_3(k)$

**tepkimesine göre aşağıdaki işlemlerden hangisi uygulanırsa tepkimenin hızı artmaz?**

**A)** Sıcaklığı artırmak

**B)** Katalizör eklemek

**C)** CaO'i toz hâline getirmek

**D)** Ortama $CO_2$ eklemek

**E)** Ortama CaO eklemek

13. $H_2(g) + ICl(g) \longrightarrow HI(g) + HCl(g)$ (yavaş)

$HI(g) + ICl(g) \longrightarrow I_2(g) + HCl(g)$ (hızlı)

**Yukarıda basamakları verilen mekanizmalı tepkimeyle ilgili olarak;**

I. Tepkimede HI maddesi ara üründür.

II. $H_2$'nin derişimi arttığında hız da artar.

III. Tepkimenin hızı, r = k [HI] [ICl] dir.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II **D)** II ve III **E)** I, II ve III

14. $H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g)$

**Tek basamakta gerçekleşen yukarıdaki tepkimede $H_2$ gazının derişimi 4 kat artırılıp $Cl_2$ gazının derişimi yarıya düşürülürse tepkimenin hızı için aşağıdaki ifadelerden hangisi doğru olur?**

**A)** 2 kat artar. **B)** 2 kat azalır.

**C)** 4 kat artar. **D)** 4 kat azalır.

**E)** Değişmez.

15. $NO_2(g) + CO(g) \longrightarrow NO(g) + CO_2(g)$

**tepkimesi için deneysel olarak belirlenen hız denklemi;**

$r = k [NO_2]^2$ şeklindedir.

**Buna göre;**

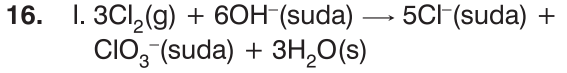
I. Tepkime tek basamaktan oluşan bir tepkimedir.

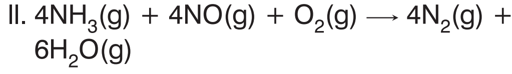
II. Hız belirleyen basamak "$2NO_2(g) \longrightarrow$ Ürünler" şeklindedir.

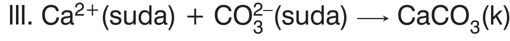
III. Tepkimede girenlerin harcanma hızı ile ürünlerin oluşma hızları eşittir.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız II **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**16.** 

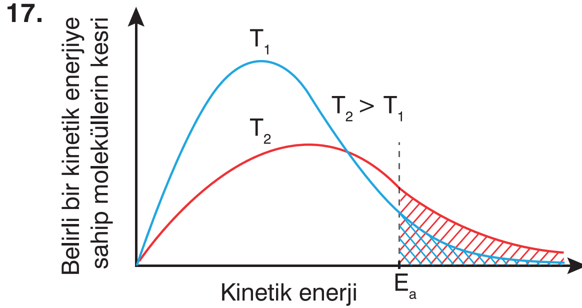




**Aynı şartlarda gerçekleşen yukarıdaki tepkimelerin bağıl hızlarının büyüklükleri karşılaştırıldığında aşağıdakilerden hangisi doğrudur?**

**A)** I > II > III  **B)** I > III > II  **C)** II > I > III

**D)** II > III > I  **E)** III > I > II

**17.** 


Kapalı bir kapta gerçekleşen $A_2(g) + B_2(g) \longrightarrow 2AB(g)$ tepkimesinin $T_1$ ve $T_2$ sıcaklıklarına ait belirli bir kinetik enerjiye sahip moleküllerin kesri-kinetik enerji grafiği aşağıda verilmiştir.

**Buna göre sıcaklık $T_1$'den $T_2$'ye değiştirildiğinde;**

I. Tepkimenin hızı artar.

II. Etkin çarpışma yapan moleküllerin kesri artar.

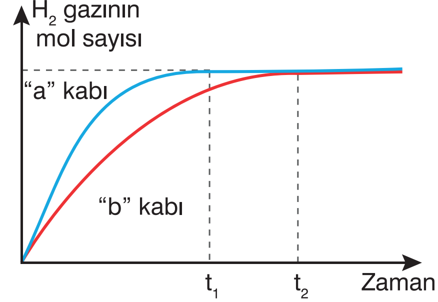
III. Aktifleşme enerjisini aşan moleküllerin sayısı artar.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız II  **B)** Yalnız III  **C)** I ve II

**D)** II ve III  **E)** I, II ve III

**18.** Aynı şartlarda "a" ve "b" kaplarında gerçekleşen $Mg(k) + 2HCl(suda) \longrightarrow MgCl_2(suda) + H_2(g)$ tepkimesine ilişkin $H_2$ gazının mol sayısı-zaman grafiği aşağıdaki gibidir:




**Buna göre;**

I. "a" ve "b" kaplarında oluşan $H_2$ gazı miktarları farklıdır.

II. "a" kabındaki tepkime "b" kabındaki tepkimeden daha hızlıdır.

III. "a" kabında toz, "b" kabında parça hâlinde Mg katısı kullanılmıştır.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız I  **B)** I ve II  **C)** I ve III

**D)** II ve III  **E)** I, II ve III

**19. Katalizörlerle ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?**

**A)** Aktifleşme enerjisini azaltarak tepkimeyi hızlandırır.

**B)** Tepkimenin daha uzun sürede gerçekleşmesini sağlar.

**C)** Tepkimeye girdiklerinde kimyasal özelliği değişir.

**D)** Tepkimede girenlerin ve ürünlerin bileşimini değiştirir.

**E)** Hem ileri hem de geri yöndeki tepkimeyi yavaşlatır.

# 6. ÜNİTE KİMYASAL TEPKİMELERDE DENGE



1 > KİMYASAL DENGE

2 > DENGEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3 > SULU ÇÖZELTİ DENGELERİ

## Anahtar Kavramlar

asit-baz çifti, asitlik/bazlık sabiti, Brönsted-Lowry asidi/bazı, çökelme tepkimesi, çözünürlük çarpımı, denge sabiti, eşdeğerlik noktası, indikatör, kimyasal denge, kuvvetli asit/baz, Le Chatelier İlkesi, oto-iyonizasyon, pH/pOH, tampon çözelti, titrasyon, zayıf asit/baz

## Ünitede

Amonyak, kimya endüstrisinde özellikle gübre ve patlayıcı yapımında kullanılan nitratlı bileşiklerin üretilmesinde önemli bir kimyasal maddedir. Bu nedenle bilim insanları amonyak üretiminde havadaki azotu kullanabilmek için uygun bir yöntem aradılar.

Kimya mühendisi Carl Bosch (Karl Boş) ile birlikte çalışan kimyager Fritz Haber (Fritz Haber) havadaki azotu kullanmak için uygun bir yöntem buldu. Günümüzde "Haber-Bosch Yöntemi" olarak da bilinen bir yöntem ile amonyak gazını, azot ve hidrojen gazlarından elde etmeyi başardı. Haber'in karşılaştığı zorluklardan biri, tepkimenin tam olarak gerçekleşmemesi ve tepkimeye girenlerin bir kısmı harcandıktan sonra, tepkimenin sona ermiş gibi görünmesiydi. Aslında bu noktada, tepkimeye girenlerin ve ürünlerin karışımından oluşan kimyasal bir denge söz konusuydu. Haber, dengedeki tepkimenin sıcaklık ve basınç gibi şartlarını değiştirerek amonyak verimini artırmayı başardı.

**ÜNİTEYE HAZIRLIK SORULARI**

1. Vücuttaki kanda oksijenin taşınması kimyasal denge içeren biyolojik süreçlerdendir. Kimyasal açıdan bu sürecin nasıl gerçekleştiğini araştırınız.
2. Yer altı mağaralarının içindeki sarkıt ve dikitlerin kimyasal olarak nasıl oluştuğunu araştırınız.

# 1. Bölüm

## KİMYASAL DENGE



### Konular

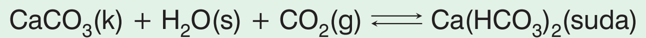
**6.1.1** Fiziksel ve Kimyasal Değişimlerde Denge

**6.1.2** Tersinir Tepkimelerde Denge İfadeleri

**6.1.3** Denge Sabiti İle İlgili Hesaplamalar

### Bölümde

Kimyasal denge bazı mağaraların oluşumunda önemli rol oynar. Su ve karbon dioksit tepkimeye girerek karbonik asidi ($H_2CO_3$) oluşturur. Oluşan bu asit kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) katısını yavaşça çözerek kalsiyum bikarbonat [$Ca(HCO_3)_2$] çözeltisine dönüştürür. Tavanda damlayan $Ca^{2+}$ ve $HCO_3^-$ iyonlarınca zengin kalsiyum bikarbonat çözeltisi, mağaranın tavanından sızarken geriye doğru ilerleyen aşağıdaki denge tepkimesine göre kalsiyum karbonatı, suyu ve karbon dioksiti oluşturur.



$$CaCO_3(k) + H_2O(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2(suda)$$

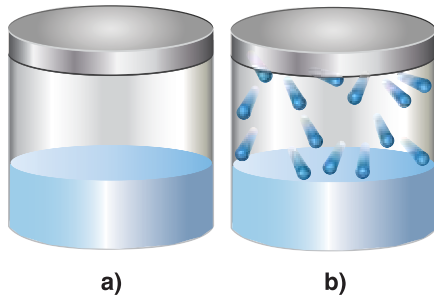
Kalsiyum karbonatın buz saçağına benzeyen ve tavanda birikmesiyle aşağı doğru büyüyen yapısı sarkıtları, tabanda birikmesiyle yukarı doğru büyüyen yapısı dikitleri oluşturur. Bu yapıların oluşumu uzun yıllar sürebilir.

## 6.1.1 FİZİKSEL VE KİMYASAL DEĞİŞİMLERDE DENGE

Denge, tepkimeye girenlerin ürünlere, ürünlerin de girenlere dönüşebildiği ileri ve geri yönlü olaylarda söz konusudur. Dengeyi belirleyen iki faktör vardır. Bunlardan biri maksimum düzensizlik eğilimi, diğeri de minimum enerji eğilimidir. Şimdi, bu eğilimlerin fiziksel ve kimyasal değişimlerdeki denge üzerinde etkisini açıklayalım.

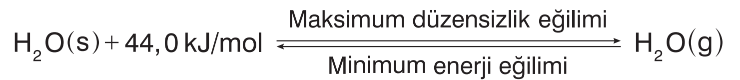
### Fiziksel Değişimlerde Denge

Başlangıçta kapalı bir kapta bir miktar su bulunduğunu varsayalım (Şekil 6.1.1.a). Suyun buharlaşmaya başlamasıyla birlikte sıvı hâlden gaz hâline geçen moleküllerin sayısı artarken bazı gaz hâlindeki moleküller de yoğuşarak sıvı hâle geçer. Bir süre sonra belirli bir sıcaklıkta ve birim zamanda, sıvı hâlden gaz hâle geçen moleküllerin sayısıyla, gaz hâlden sıvı hâle geçen moleküllerin sayısı eşitlenir.




***Şekil 6.1.1:*** *Bir maddenin sıvı ve gaz hâlleri arasında fiziksel dengenin oluşumu* ***a)*** *Başlangıç durumunda* ***b)*** *Denge durumunda*

Buharlaşma ve yoğuşma sürecinde, buharlaşma hızının yoğuşma hızına eşit olduğu yani ileri ve geri yöndeki olayın tam olarak dengelendiği dinamik bir sıvı-gaz dengesine ulaşılır (Şekil 6.1.1.b). 1 mol suyun buharlaşması için 44 kJ/mol enerji gerekeceğinden ve tepkime endotermik olduğundan gaz hâlinin enerjisi sıvı hâlinin enerjisinden yüksektir. Bu nedenle minimum enerji eğilimi suyun sıvı hâlinin lehinedir. Suyun gaz hâli sıvı hâline göre daha düzensiz olduğundan maksimum düzensizlik eğilimi de gaz hâlinin lehinedir. Suyun sıvı ve gaz hâlleri arasında oluşan, maksimum düzensizlik eğilimi ile minimum enerji eğiliminin uzlaştığı dinamik denge şu şekilde gösterilir:



$$H_2O(s) + 44{,}0\ kJ/mol \underset{\text{Minimum enerji eğilimi}}{\overset{\text{Maksimum düzensizlik eğilimi}}{\rightleftharpoons}} H_2O(g)$$

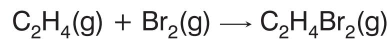
Belirli şartlarda bir maddenin iki fazı arasındaki dinamik dengeye **fiziksel denge** denir. Fiziksel dengede minimum enerjili ve maksimum düzensizlik eğilimi zıt yönlerde gerçekleşir. Yani bir eğilim ileri yöndeki fiziksel değişimi desteklerken diğer eğilim geri yöndeki fiziksel değişimi destekler.

### Bilgi Notu

*Dinamik denge, gözlenebilir makroskobik olayların sonlandığı, gözlenemeyen mikroskobik olayların devam ettiği bir süreçtir.*

### Kimyasal Değişimlerde Denge

Kapalı bir kaba renksiz $C_2H_4$ ve kahverengi $Br_2$ gazlarından konulduğunu varsayalım. Başlangıçta bu iki gaz madde arasında ileri yönde tepkime gerçekleşerek renksiz $C_2H_4Br_2$ gazı oluşur.



$$C_2H_4(g) + Br_2(g) \longrightarrow C_2H_4Br_2(g)$$

Renksiz Kahverengi Renksiz

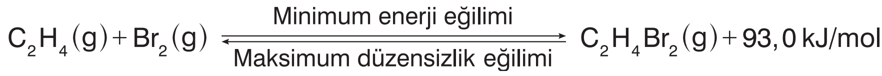
Tepkime ileri yönde gerçekleşirken $Br_2$ gazının harcanması

### Uyarı

*Fiziksel dengenin, girenler ve ürünler olarak aynı bileşikleri içerdiğine dikkat ediniz.*

nedeniyle kahverengiliği giderek açılır. Fakat tepkime ortamında açık kahverenginin bir süre sonra sabit kaldığı görülür. Rengin sabit kalması tepkime ortamında bir miktar daha $Br_2$ gazının varlığını gösterir. Bu durum, tepkimenin başlangıçta ürünleri oluşturacak şekilde ileri yönde gerçekleşirken bir miktar ürün oluşur oluşmaz tepkimenin geri yönde gerçekleştiğine ve ürünlerin tekrar girenleri oluşturduğuna işaret eder. Tepkimenin şartları değişmediği sürece bir süre sonra ileri tepkime hızının geri tepkime hızına eşit olduğu, tepkime ortamında hem girenlerin hem de ürünlerin bulunduğu bir denge söz konusu olur. Denge durumunda tepkimede girenlerin ve ürünlerin derişimleri sabittir.

Ekzotermik olarak gerçekleşen bu tepkimede 93,0 kJ/mol enerji açığa çıkar. Dolayısıyla minimum enerji eğilimi $C_2H_4Br_2$ gazının oluşması lehinedir. Maksimum düzensizlik eğilimi ise tepkimede girenlerin toplam mol sayısı ürünlerin mol sayısından fazla olduğundan $C_2H_4$ ve $Br_2$ gazlarının oluşması lehinedir. $C_2H_4$, $Br_2$ ve $C_2H_4Br_2$ gazları arasında oluşan, maksimum düzensizlik eğilimi ile minimum enerji eğiliminin uzlaştığı dinamik denge şu şekilde gösterilir:



$$C_2H_4(g) + Br_2(g) \underset{\text{Maksimum düzensizlik eğilimi}}{\overset{\text{Minimum enerji eğilimi}}{\rightleftharpoons}} C_2H_4Br_2(g) + 93{,}0\ \text{kJ/mol}$$

Belirli şartlarda kimyasal bir tepkimede girenlerin ve ürünlerin derişimlerinin sabit olduğu dinamik dengeye **kimyasal denge** denir. Çok az sayıda kimyasal tepkime sadece ileri yönlüdür. Kimyasal tepkimelerin birçoğu hem ileri hem de geri yönlüdür.

Uyarı



*Kimyasal dengenin, girenler ve ürünler olarak farklı bileşikleri içerdiğine dikkat ediniz.*

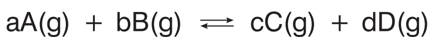
## 6.1.2 TERSİNİR TEPKİMELERDE DENGE İFADELERİ

Kimyasal tepkimelerin birçoğu ister tek, ister çok basamaklı olsun hem ileri hem de geri yönlüdür. Hem ileri hem de geri yönde ilerleyen kimyasal tepkimeler **tersinir tepkimeler** olarak adlandırılır. Tersinir tepkimelerde öyle bir an gelir ki tepkimeye girenlerin ürünleri oluşturma hızına, ürünlerin de girenleri oluşturma hızına eşitlendiği kimyasal dengeye ulaşılır. Kimyasal denge, dinamik bir dengedir. Dinamik denge, değişimin devamlılığını ifade eder (Resim 6.1.1).



*Resim 6.1.1:* Kimyasal dengenin dinamik bir süreç olduğu, eşit sayıda insanların yürüyen merdivenlerden alt ve üst katlara aynı hızla taşınması durumunda, katlardaki insanların sayısında bir değişmenin olmamasına benzetilebilir.

Aşağıdaki tersinir genel bir tepkimenin ileri ve geri yöndeki hızlarını irdeleyerek kimyasal dengeyi kavramaya çalışalım.



$$aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$$

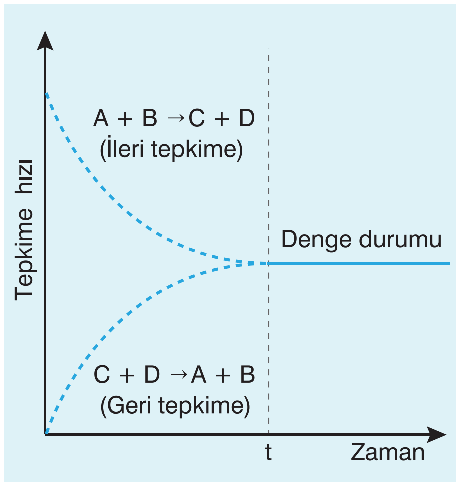
Tepkimede A ve B tepkimeye girenleri; C ve D tepkimede oluşan ürünleri; a, b, c ve d ise sırasıyla A, B, C ve D maddelerinin stokiyometrik katsayılarını göstermektedir.

## Bilgi Notu



*Tersinir bir tepkimeyi veya bir kimyasal dengeyi göstermek için çift yönlü ok ($\rightleftharpoons$) kullanılır.*

Girenler $\rightleftharpoons$ Ürünler




***Grafik 6.1.1:*** aA(g) + bB(g) $\rightleftharpoons$ cC(g) + dD(g) genel tepkimesinin denge durumu

## Bilgi Notu



*"$K_c$" ile gösterilen denge sabitindeki alt indis "c", tepkimede yer alan maddelerin derişimler türünden yazıldığı anlamına gelir. Denge denkleminde köşeli parantezler, litrede mol olarak (mol/L) denge derişimini belirtir.*

*"$K_p$" ile gösterilen denge sabitindeki alt indis "p", tepkimede yer alan maddelerin basınçlar türünden yazıldığı anlamına gelir.*

Genel tepkime denklemine göre ileri yöndeki tepkimenin hız ($r_i$) denklemi ve geri yöndeki tepkimenin hız ($r_g$) denklemi ayrı ayrı yazılacak olursa;

$$r_i = k_i[A]^a[B]^b$$

$$r_g = k_g[C]^c[D]^d$$

eşitlikleri elde edilir. Kimyasal olarak belirli şartlarda dinamik bir dengenin kurulduğu "t" anında ileri ve geri yöndeki tepkime hızları birbirine eşit olur (Grafik 6.1.1). Bu durumda;

$$r_i = r_g$$

$$k_i[A]^a[B]^b = k_g[C]^c[D]^d$$

eşitliği elde edilir. Eşitlik düzenlenirse;

$$\frac{k_i}{k_g} = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

şeklini alır. Belirli bir sıcaklıkta ileri tepkimenin hız sabiti ($k_i$) ile geri tepkimenin hız sabiti ($k_g$) değerleri de sabittir. Dolayısıyla ileri tepkimenin hız sabiti ile geri tepkimenin hız sabiti oranından ($k_i$ / $k_g$) yeni bir sabit elde edilir. Bu sabit değer "$K_c$" sembolü ile gösterilir. "$K_c$" değeri, tepkimenin derişimler türünden **denge sabiti** olarak adlandırılır. Tersinir tepkimede derişimler türünden yazılan eşitliğe ise **denge denklemi** (denge bağıntısı) denir. Dengedeki genel bir tepkime için derişimler türünden denge denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

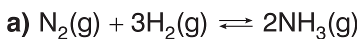
$$K_c = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

Tersinir genel tepkimede yer alan A, B, C ve D gazlarının kısmi basınçları sırasıyla $P_A$, $P_B$, $P_C$ ve $P_D$ şeklinde gösterilebilir. Bu gazların a, b, c ve d stokiyometrik katsayıları kısmi basınçlarına üstel kuvvet olarak yazılırsa kısmi basınçlar türünden denge sabiti "$K_p$" elde edilir. Dengedeki genel bir tepkime için kısmi basınçlar türünden denge denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

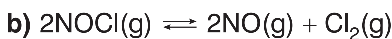
$$K_p = \frac{(P_C)^c(P_D)^d}{(P_A)^a(P_B)^b}$$

### Örnek 1

**Aşağıdaki tepkimelerin derişimler ve kısmi basınçlar türünden denge denklemlerini yazınız.**



**a)** $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$



**b)** $2NOCl(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + Cl_2(g)$

**Çözüm 1**

**a)** $K_c = \dfrac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$ $\qquad K_p = \dfrac{\left(P_{NH_3}\right)^2}{\left(P_{N_2}\right)\left(P_{H_2}\right)^3}$

**b)** $K_c = \dfrac{[NO]^2[Cl_2]}{[NOCl]^2}$ $\qquad K_p = \dfrac{\left(P_{NO}\right)^2\left(P_{Cl_2}\right)}{\left(P_{NOCl}\right)^2}$

**Hatırlatma**



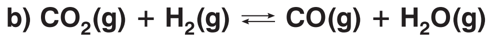
*Bir tepkimenin hızının tepkimeye giren maddelerin derişimleri ile orantılı olduğunu hatırlayınız.*

**Alıştırma 1**

**Aşağıdaki tepkimelerin denge denklemlerini yazınız.**



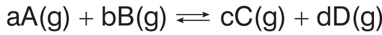
**a)** $H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2HCl(g)$



**b)** $CO_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$

## $K_c$ ile $K_p$ Arasındaki İlişki

Bir gazın kısmi basıncı ile derişimi arasında doğrudan bir ilişki olmadığından "$K_c$" ile "$K_p$" arasında da doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak "$K_c$" ile "$K_p$" arasında bir eşitlik aşağıdaki gibi tersinir bir genel tepkimeden türetilebilir:



$aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$

Genel tepkimede yer alan A, B, C ve D gazlarının kısmi basınçları sırasıyla $P_A$, $P_B$, $P_C$ ve $P_D$ şeklinde; mol sayıları sırasıyla $n_A$, $n_B$, $n_C$ ve $n_D$ şeklinde gösterilebilir. Gazların ideal olarak davrandığı kabul edilirse A gazı için;

$$P_A V = n_A R T \Rightarrow P_A = \left(\frac{n_A}{V}\right) R T \Rightarrow P_A = [A] R T \Rightarrow [A] = \frac{P_A}{R T}$$

eşitliği elde edilir. B, C ve D gazları için de aşağıdaki gibi eşitlikler yazılabilir:

$$[B] = \frac{P_B}{R T} \qquad [C] = \frac{P_C}{R T} \qquad [D] = \frac{P_D}{R T}$$

Tersinir bir genel tepkimenin derişimler türünden denge denkleminde yukarıdaki eşitlikler yerlerine yazılırsa eşitlik;

$$K_c = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b} = \frac{\left(\frac{P_C}{R T}\right)^c\left(\frac{P_D}{R T}\right)^d}{\left(\frac{P_A}{R T}\right)^a\left(\frac{P_B}{R T}\right)^b} = \frac{(P_C)^c(P_D)^d\left(\frac{1}{R T}\right)^{c+d}}{(P_A)^a(P_B)^b\left(\frac{1}{R T}\right)^{a+b}}$$

$$K_c = K_p \left(\frac{1}{RT}\right)^{(c+d)-(a+b)}$$

şeklini alır. Tersinir genel tepkime için üstel kuvvet;

$$\Delta n = \Sigma n_{ürünler} - \Sigma n_{girenler}$$

$$\Delta n = (c+d) - (a+b)$$

şeklinde gösterilirse $K_c$ ile $K_p$ arasında;

$$K_c = K_p \left(\frac{1}{RT}\right)^{\Delta n} \Rightarrow K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$$

eşitliği elde edilir. Eşitlikteki R, bir gaz sabitidir.

$R = 0{,}082\ L\ atm\ mol^{-1}\ K^{-1}$

**Bilgi Notu**

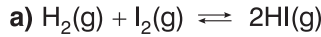
*Denge sabiti ($K_c$ veya $K_p$) birimsiz bir niceliktir.*

**Uyarı**

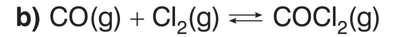
*Denge sabiti ($K_c$ veya $K_p$) değeri, sıcaklık değiştirilmezse sabittir.*

### Örnek 2

**Aşağıdaki tepkimeler için $K_p$ ile $K_c$ arasındaki bağıntıyı yazınız.**



**a)** $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$



**b)** $CO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons COCl_2(g)$

### Çözüm 2

**a)** $\Delta n = 2 - (1+1) = 0$

$K_p = K_c (RT)^0$

$K_p = K_c$

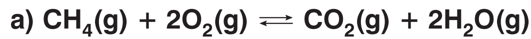
**b)** $\Delta n = 1 - (1+1) = -1$

$K_p = K_c (RT)^{-1}$

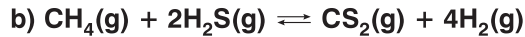
$K_p = K_c \dfrac{1}{(RT)}$

### Alıştırma 2

**Aşağıdaki tepkimeler için $K_p$ ile $K_c$ arasındaki bağıntıyı yazınız.**



**a)** $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + 2H_2O(g)$



**b)** $CH_4(g) + 2H_2S(g) \rightleftharpoons CS_2(g) + 4H_2(g)$

**Bilgi Notu**

*Tersinir bir tepkimenin dengeye ulaşma yönü, "$Q_c$" ve "$K_c$"nin bağıl büyüklüklerine bağlıdır. "$K_c$"nin değeri belirli bir sıcaklıkta sabit olmasına rağmen, "$Q_c$"nin değeri aynı sıcaklıkta girenlerin ve ürünlerin derişimine bağlı olarak değişir.*

## Tepkime Yönünün Belirlenmesi: Denge Oranı

Bir tepkimenin dengede olup olmadığı, herhangi bir anda tepkimede yer alan maddelerin derişimlerinin denge denkleminde yerlerine yazılması ile belirlenir. Herhangi bir anda hesaplanan denge oranı (denge kesri) değeri "$Q_c$" şeklinde gösterilir. Hesaplanan denge oranı "$Q_c$" değeri, denge sabiti "$K_c$" değeri ile kıyaslanır. Hesaplanan $Q_c$ değeri için;

- $Q_c < K_c$ ise ürünlerin derişiminin girenlerin derişimine oranı

düşüktür. Tepkimenin dengeye ulaşabilmesi için net tepkime ürünlerin oluşumu yönüne ilerler.

- $Q_c = K_c$ ise tepkimede yer alan maddelerin başlangıç derişimleri dengedeki derişimleri ile aynıdır. Yani tepkime dengededir.
- $Q_c > K_c$ ise ürünlerin derişiminin girenlerin derişimine oranı yüksektir. Tepkimenin dengeye ulaşabilmesi için net tepkime girenlerin oluşumu yönüne ilerler.

### Örnek 3

**$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ tepkimesinin belirli sıcaklıkta derişim türünden denge sabiti "$K_c$" değeri 8,1'dir. Aynı sıcaklıkta 1 L'lik kapta 0,4 mol $N_2O_4$ gazı, 1,2 mol $NO_2$ gazı bulunduğu anda tepkime dengede midir? Dengede değil ise net tepkime hangi yöne ilerler?**

### Çözüm 3

Tepkimenin derişimler türünden denge sabiti bilindiğinden önce denge oranı "$Q_c$" değerini hesaplayalım.

$$Q_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{(1,2)^2}{0,4} = 3,6$$

$Q_c < K_c$ olduğundan tepkime dengede değildir. Bu nedenle tepkime dengeye ulaşıncaya kadar ileri yönde ilerler.

### Örnek 4

**$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ tepkimesinin belirli sıcaklıkta derişim türünden denge sabiti "$K_c$" değeri 7,7'dir. Aynı sıcaklıkta 1 L'lik kapta 0,4 mol $N_2$, 1,2 mol $H_2$ ve 2,4 mol $NH_3$ gazı bulunduğu anda tepkime dengede midir? Dengede değil ise net tepkime hangi yöne ilerler?**

### Çözüm 4

Tepkimenin derişimler türünden denge sabiti bilindiğinden önce denge oranı "$Q_c$" değerini hesaplayalım.

$$Q_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{(2,4)^2}{(0,4)(1,2)^3} = 8,3$$

$Q_c > K_c$ olduğundan tepkime dengede değildir. Bu nedenle tepkime dengeye ulaşıncaya kadar geri yönde ilerler.

### Biliyor musunuz?



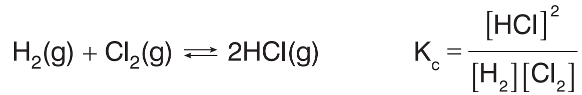
*Denge ifadelerinde saf katıların ve sıvıların derişimlerinin "1" olduğu kabul edilerek denge denklemleri yazılır. Denge denklemlerinde derişimlerin "1" kabul edilmesi, bu maddelerin derişimlerinin 1 birim olduğu anlamına gelmez. Gerçekte her saf maddenin derişimi farklı fakat sabit bir değerdir. Sabit olan bu değerler, denge sabitine katılarak ifade basitleştirilir.*

**Alıştırma 3**

**$2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ tepkimesinin belirli sıcaklıkta derişim türünden denge sabiti değeri 2,5'tir. Aynı sıcaklıkta 2 L'lik kapta 0,8 mol NO gazı, 0,8 mol $O_2$ gazı ve 1,6 mol $NO_2$ gazı bulunduğu anda tepkime dengede midir? Dengede değil ise net tepkime hangi yöne ilerler?**

## Homojen ve Hetorejen Denge

Dengedeki tepkimelerde tepkimeye girenler ve ürünler bir arada bulunduğundan denge tepkimeleri homojen veya heterojen fazda gerçekleşebilir. Tersinir bir tepkimede aynı fazdaki maddelerin oluşturduğu dengeye **homojen denge** denir. Homojen dengedeki maddelerin derişim türünden denge denkleminde ifade edilebilmeleri için homojen dengenin, çözelti fazında veya gaz fazında olması gerekir. Homojen fazda gerçekleşen tepkimeye ve bu tepkimeye ilişkin denge denklemlerine aşağıdaki örnek verilebilir:



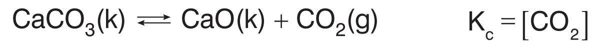
$$H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2HCl(g) \qquad K_c = \frac{[HCl]^2}{[H_2][Cl_2]}$$

Uyarı



*Derişim ve basınç türünden ifade edilen denge denklemlerinde saf çözücülerin (homojen dengelerde), saf sıvı ve saf katıların (heterojen dengelerde) yer almadığını unutmayınız.*

Tersinir bir tepkimede farklı fazlardaki maddelerin oluşturduğu dengeye **heterojen denge** denir. Heterojen dengede yer alan katı ve sıvı maddelerin, sıcaklık değişmediği sürece denge derişimleri sabit olduğundan denge denklemlerinde yer almaz. Heterojen fazda gerçekleşen tepkimeye ve bu tepkimeye ilişkin denge denklemine aşağıdaki örnek verilebilir:

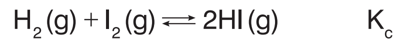


$$CaCO_3(k) \rightleftharpoons CaO(k) + CO_2(g) \qquad K_c = [CO_2]$$

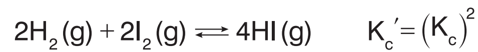
## Tepkime Denklemi ile Denge Sabiti Arasındaki İlişki

Denge sabiti "$K_c$"nin değeri, denkleştirilmiş tepkime denkleminin nasıl yazıldığına bağlıdır. Tepkime denkleminin yazılış şekline göre denge sabiti "$K_c$"nin değeri değişir. Bu değişimle ilgili genel olarak şu dört kural geçerlidir:

**1. kural:** Denge tepkimesi herhangi bir katsayı ile çarpılırsa bu sayı denge sabiti "$K_c$" değerine üstel kuvvet olarak yazılır.

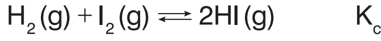


$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g) \qquad K_c$$

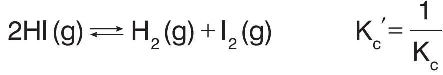


$$2H_2(g) + 2I_2(g) \rightleftharpoons 4HI(g) \qquad K_c' = (K_c)^2$$

**2. kural:** Denge tepkimesi zıt yönde yazılırsa "$K_c$" değerinin tersi alınır.

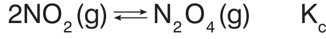


$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g) \qquad K_c$$

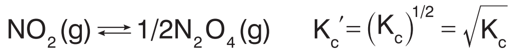


$$2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g) \qquad K_c' = \frac{1}{K_c}$$

**3. kural:** Denge tepkimesi herhangi bir katsayıya bölünürse bölünen katsayının 1'e bölümü denge sabiti "$K_c$" değerine üstel kuvvet olarak yazılır.

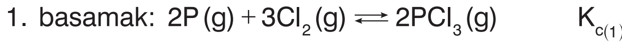


$$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g) \qquad K_c$$



$$NO_2(g) \rightleftharpoons 1/2N_2O_4(g) \qquad K_c' = (K_c)^{1/2} = \sqrt{K_c}$$

**4. kural:** Basamaklardan oluşan bir denge tepkimesinde, net denge tepkimesinin "$K_c'$" değeri, her bir basamaktaki denge tepkimesine ait "$K_c$" değerlerinin ($K_{c(1)}$ve $K_{c(2)}$) çarpımına eşittir.

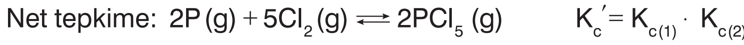


1. basamak: $2P(g) + 3Cl_2(g) \rightleftharpoons 2PCl_3(g) \qquad K_{c(1)}$



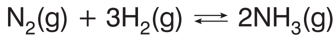
2. basamak: $2PCl_3(g) + 2Cl_2(g) \rightleftharpoons 2PCl_5(g) \qquad K_{c(2)}$

---



Net tepkime: $2P(g) + 5Cl_2(g) \rightleftharpoons 2PCl_5(g) \qquad K_c' = K_{c(1)} \cdot K_{c(2)}$

## Örnek 5



$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

**Yukarıda verilen belirli sıcaklıkta dengedeki sentez tepkimesinin denge sabiti "$K_c$" değeri 16'dır. Aynı sıcaklıkta aşağıdaki ayrışma denge tepkimesinin denge sabiti "$K_c'$" değeri kaçtır?**



$$NH_3(g) \rightleftharpoons 1/2N_2(g) + 3/2H_2(g)$$

## Çözüm 5

Ayrışma denge tepkimesini elde edebilmek için sentez tepkimesi tersine çevrilip 2'ye bölünmelidir.

$$K_c' = \frac{1}{\sqrt{K_c}} = \frac{1}{\sqrt{16}} = \frac{1}{4} = 0,25$$

## Alıştırma 4

**$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ tepkimesi için belirli sıcaklıkta denge sabiti "$K_c$" değeri 0,5'tir. Buna göre aşağıdaki tepkimenin denge sabiti değerini bulunuz.**



$$4SO_3(g) \rightleftharpoons 4SO_2(g) + 2O_2(g)$$

## 6.1.3 DENGE SABİTİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

Aşağıdaki denge sabiti ile ilgili çözümlü örnekleri inceleyerek denge sabiti ve denge denklemi kavramlarını pekiştirelim.

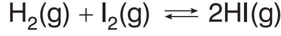
**Hatırlatma**



*Molar derişimin aşağıdaki eşitlik ile hesaplandığını hatırlayınız.*

$$M = \frac{n}{V}$$

**Örnek 6**



$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$

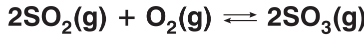
**Belirli sıcaklıkta 1 L'lik kapalı bir kapta yukarıdaki denge tepkimesine göre dengede 0,1 mol $H_2$, 0,1 mol $I_2$ ve 0,6 mol HI gazları bulunuyor. Buna göre denge sabiti "$K_c$" değeri nedir?**

**Çözüm 6**

Dengedeki bir tepkimenin "$K_c$" değeri istenildiğinde denge denklemindeki maddeler derişim türünden yazılmalıdır. Hacim 1 L olduğundan dengedeki maddelerin mol sayıları aynı zamanda derişimlerine eşittir.

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{(0,6)^2}{(0,1)(0,1)} = 36$$

**Örnek 7**



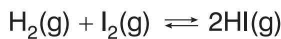
$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

**Belirli sıcaklıkta yukarıdaki denge tepkimesine göre $SO_2$, $O_2$ ve $SO_3$ gazlarının dengedeki kısmi basınçları sırasıyla 0,4 atm, 0,2 atm ve 0,8 atm'dir. Buna göre denge sabiti "$K_p$" değeri nedir?**

**Çözüm 7**

$$K_p = \frac{\left(P_{SO_3}\right)^2}{\left(P_{SO_2}\right)^2 \left(P_{O_2}\right)} = \frac{(0,8)^2}{(0,4)^2 (0,2)} = 20$$

**Örnek 8**

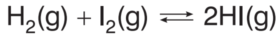


$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$

**Belirli sıcaklıkta 2 L'lik kapalı bir kaba 0,6 mol $H_2$ ve 0,6 mol $I_2$ gazları konularak yukarıdaki denge kuruluyor. Dengede 0,8 mol HI gazı bulunduğuna göre denge sabiti "$K_c$" değerini hesaplayınız.**

## Çözüm 8

Tepkime kabına 0,6'şar mol $H_2$ ve $I_2$ gazları konulmuştur. Denge kurulduğunda ortamda 0,8 mol HI gazı bulunmaktadır. Tepkime denklemindeki stokiyemetrik katsayılar dikkate alındığında 2 mol HI oluşabilmesi için 1 mol $H_2$ ve 1 mol $I_2$ gazları harcanmalıdır. O hâlde, 0,8 mol HI gazının oluşabilmesi için 0,4 mol $H_2$ ve 0,4 mol $I_2$ gazı harcanmalıdır. Buna göre tepkimenin başlangıç, değişim ve denge durumları aşağıdaki gibi gösterilebilir:



$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$$

| | $H_2(g)$ | $I_2(g)$ | $2HI(g)$ |
|---|---|---|---|
| Başlangıç: | 0,6 | 0,6 | – |
| Değişim : | –0,4 | –0,4 | +0,8 |
| Denge : | 0,2 | 0,2 | 0,8 |

Denge tepkimesinde yer alan $H_2$, $I_2$ ve HI gazlarının mol sayıları;

$$n_{H_2} = n_{I_2} = 0,2 \text{ mol}$$

$$n_{HI} = 0,8 \text{ mol}$$

olduğundan ve dengedeki tepkime 2 L'lik kapta gerçekleştiğinden dengede yer alan gazların derişimleri şöyledir:

$$M_{H_2} = \frac{n}{V} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ mol/L}$$

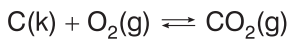
$$M_{I_2} = \frac{n}{V} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ mol/L}$$

$$M_{HI} = \frac{n}{V} = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ mol/L}$$

Dengede yer alan maddelerin derişimleri denge denkleminde yerlerine yazılırsa denge sabiti değeri aşağıdaki gibi bulunur:

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{(0,4)^2}{(0,1)(0,1)} = 16$$

## Örnek 9

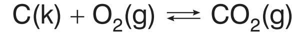


$$C(k) + O_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g)$$

**Belirli sıcaklıkta 4 L'lik kapalı bir kaba C katısı ve 2,4 mol $O_2$ gazı konularak yukarıdaki denge tepkimesine göre denge kuruluyor. Tepkimenin denge sabiti "$K_c$" değeri 0,5 olduğuna göre dengede yer alan gazların derişimlerini ve kısmi basınçlar türünden denge sabiti "$K_p$" değerini hesaplayınız.**

## Çözüm 9

Tepkimede C katısı ile “x” mol $O_2$ gazı tepkimeye girdiğinde “x” mol $CO_2$ gazı oluşacaktır. Tepkimenin başlangıç, değişim ve denge durumları aşağıdaki gibi gösterilebilir:



$$C(k) + O_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g)$$

| | $O_2$ | $CO_2$ |
|---|---|---|
| Başlangıç: | 2,4 | – |
| Değişim : | –x | +x |
| Denge : | (2,4 – x) | x |

Dengedeki değerleri derişim türünden denge denkleminde yerlerine yazalım.

$$K_c = \frac{[CO_2]}{[O_2]} \Rightarrow 0,5 = \frac{x/4}{(2,4-x)/4} \Rightarrow x = 0,5(2,4-x) \Rightarrow x = 0,8 \text{ mol/L}$$

Dengedeki tepkimede yer alan $CO_2$ ve $O_2$ gazlarının mol sayıları aşağıdaki gibidir:

$n_{O_2} = 2,4 - x = 2,4 - 0,8 = 1,6$ mol $\qquad n_{CO_2} = 0,8$ mol

Dengedeki tepkime 4 L'lik kapta gerçekleştiğinden dengede yer alan gazların derişimleri şöyledir:

$$M_{O_2} = \frac{n}{V} = \frac{1,6}{4} = 0,4 \text{ mol/L} \qquad M_{CO_2} = \frac{n}{V} = \frac{0,8}{4} = 0,2 \text{ mol/L}$$

“$K_c$” sabiti “$K_p$” sabiti ile ilişkilidir ve aralarında aşağıdaki eşitlik söz konusudur:

$K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$

Eşitlikteki “$\Delta n$” değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$\Delta n = \sum n_{ürünler} - \sum n_{girenler} \Rightarrow \Delta n = 1 - 1 = 0$'dır.

$\Delta n$ değeri $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$ eşitliğinde yerine yazılırsa;

$K_p = K_c (RT)^0 \Rightarrow K_p = K_c$ olur.

$K_p$ değeri $K_c$ değerine eşit olduğundan $K_p = 0,5$'tir.

## Alıştırma 5



**$PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$**

**Belirli sıcaklıkta 1 L'lik kapalı bir kaba 0,7 mol $PCl_3$ ve 0,7 mol $Cl_2$ gazları konularak yukarıdaki denge tepkimesine göre denge kuruluyor. Dengedeki tepkimede 0,5 mol $PCl_5$ olduğuna göre tepkimenin denge sabiti “$K_c$” değerini hesaplayınız.**

# 2. Bölüm

# DENGEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER




## Konular



## Bölümde

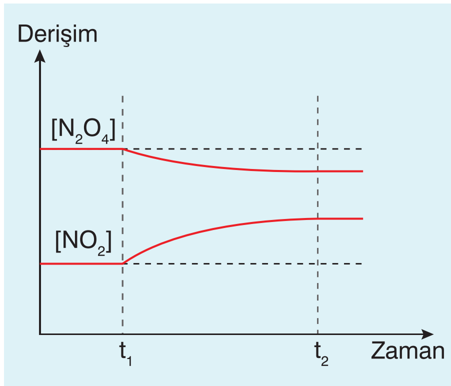
Azot ve oksijen gazları her ne kadar havanın başlıca doğal bileşenleri olsa da havanın bileşimini değiştiren ve hava kirliliğine neden olan azot oksitler (NO, $NO_2$) doğanın dengesine zarar vermektedir. Azot oksitler genellikle şimşek çakması sonucunda elektrik boşalmasıyla ortaya çıkan enerjiyle oluşurken motorlu araçlardaki fosil yakıtların yanma tepkimesiyle de oluşur.

Azot dioksit gazı havada fotokimyasal sisin/dumanlı sisin oluşmasına neden olur. Havada kırmızımsı kahverengi görünen bu sis resimde görüldüğü gibi bir şehrin görüş mesafesini oldukça azaltır. Doğanın dengesine yapılan bu etki insan sağlığını da olumsuz yönde etkiler.

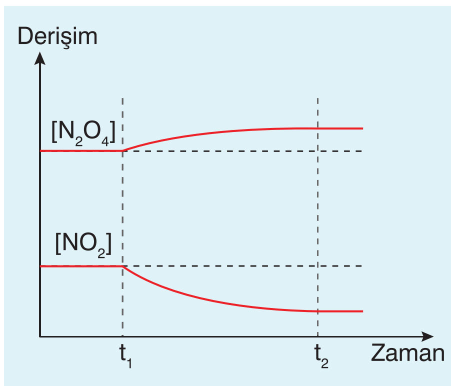
Tersinir kimyasal tepkimelerde de tıpkı doğanın dengesinin bozulduğu gibi dengeye dışarıdan bir etki yapıldığında denge bozulur. Tersinir tepkimelerde kimyasal bir dengeyi hangi dış etkiler bozabilir?



*Resim 6.2.1:* Dengedeki bir sistemin şartları değiştiğinde, dengenin hangi yönde ilerleyeceği ile ilgili ilke 1884 yılında Henry Le Chatelier (Henri Lö Şatölye,1850-1936) tarafından açıklanmıştır.




*Grafik 6.2.1:* Endotermik bir tepkimenin sıcaklığı artırıldığında oluşan derişim-zaman grafiği




*Grafik 6.2.2:* Endotermik bir tepkimenin sıcaklığı azaltıldığında oluşan derişim-zaman grafiği

## 6.2.1 DENGEDEKİ BİR SİSTEMİN BOZULMASI: DENGENİN TEPKİSİ

Dengedeki sistemde bir değişim olduğunda dengenin hangi yönde ilerleyeceğine ilişkin bir ilke vardır. Bu ilke, Le Chatelier (Lö Şatölye) İlkesi'dir (Resim 6.2.1). **Le Chatelier İlkesi**'ne göre "*Denge hâlindeki sisteme dışarıdan herhangi bir etki yapıldığında, sistem bu etkiyi azaltacak yöne doğru hareket eder ve yeniden dengeye ulaşır.*" Le Chatelier İlkesi'ndeki "etki" kelimesi, sistemin dengesinin bozulmasına yol açan sıcaklık, derişim, hacim ve kısmi basınç veya toplam basınç gibi değişimleri ifade eder. Le Chatelier İlkesi bu değişimlerin etkilerini değerlendirmede kullanılır.

## 6.2.2 SICAKLIĞIN DENGEYE ETKİSİ

Sıcaklık değişiminin dengeye etkisini anlamak için aşağıdaki endotermik denge tepkimesini ele alalım:



$$N_2O_4(g) + 58\ kJ/mol \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

$N_2O_4$ gazı renksiz, $NO_2$ gazı kahverengidir. Belirli bir sıcaklıkta $N_2O_4$ ve $NO_2$ gazlarını içeren dengedeki bir sistemin sıcaklığı artırıldığında Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltacak şekilde ürünler yönüne ilerler. Bu durumda, dengede renksiz $N_2O_4$ derişimi azalırken kahverengi $NO_2$ derişimi artar (Grafik 6.2.1). Dengedeki gaz karışımı koyu kahverengi olur. Dolayısıyla denge sabiti "$K_c$" değeri artar.

Dengedeki sistemin sıcaklığı düşürüldüğünde ise Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltacak şekilde girenler yönüne ilerler. Bu durumda da dengedeki renksiz $N_2O_4$ derişimi artarken kahverengi $NO_2$ derişimi azalır (Grafik 6.2.2). Dengedeki gaz karışımı açık kahverengi olur. Dolayısıyla denge sabiti "$K_c$" değeri azalır.

Denge hâlindeki sistemde sıcaklık değişimi, denge tepkimesinin endotermik veya ekzotermik oluşuna göre farklı etkiler gösterir. Sıcaklık değişiminin dengeye etkisini anlamak için şimdi de aynı tepkimenin aşağıdaki ekzotermik denge tepkimesini ele alalım:



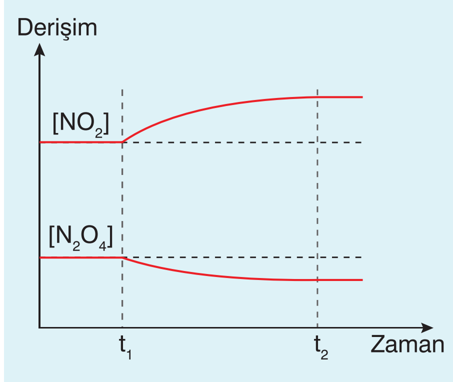
$$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g) + 58\ kJ/mol$$

Dengedeki sistemin sıcaklığı artırıldığında Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltacak şekilde girenler yönüne ilerler. Bu durumda, $NO_2$ derişimi artarken $N_2O_4$ derişimi azalır (s. 227, Grafik 6.2.3). Dolayısıyla denge sabiti "$K_c$" değeri azalır. Dengedeki sistemin sıcaklığı düşürüldüğünde ise Le Chatelier

İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltacak şekilde ürünler yönüne ilerler. Bu durumda da $NO_2$ derişimi azalırken $N_2O_4$ derişimi artar (Grafik 6.2.4). Dolayısıyla denge sabiti "$K_c$" değeri artar.

Denge hâlindeki sisteme sıcaklık değişimi bakımından bir etki yapıldığında bu durum aşağıdaki gibi genelleştirilebilir:

- Dengedeki ekzotermik sistemde, sıcaklık artırıldığında net tepkime girenler yönüne, sıcaklık azaltıldığında net tepkime ürünler yönüne ilerler.
- Dengedeki endotermik sistemde, sıcaklık artırıldığında net tepkime ürünler yönüne, sıcaklık azaltıldığında net tepkime girenler yönüne ilerler.




***Grafik 6.2.3:*** Ekzotermik bir tepkimenin sıcaklığı artırıldığında oluşan derişim-zaman grafiği

**Örnek 10**

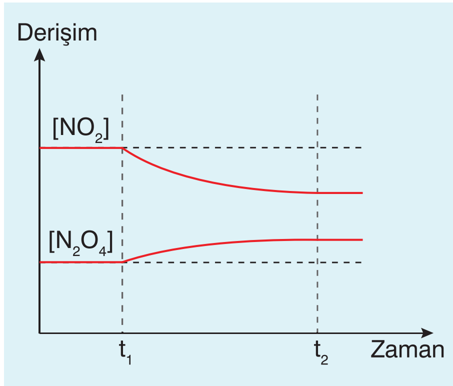


$CH_4(g) + H_2O(g) + 412\ kJ/mol \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g)$

**Yukarıdaki verilen denge tepkimesine göre;**

**a) Dengedeki sistem ısıtıldığında denge durumu için ne söylenebilir? Denge sabiti "$K_c$" değeri nasıl değişir?**

**b) Dengedeki sistem soğutulduğunda denge durumu için ne söylenebilir? Denge sabiti "$K_c$" değeri nasıl değişir?**




***Grafik 6.2.4:*** Ekzotermik bir tepkimenin sıcaklığı azaltıldığında oluşan derişim-zaman grafiği

**Çözüm 10**

**a)** Dengedeki sistem ısıtıldığında sıcaklığı artar. Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltmak için net tepkime ürünler yönüne ilerler. Ürünlerin derişimi artarken tepkimeye girenlerin derişimi azalır. Dolayısıyla endotermik denge tepkimesinde sıcaklık artışı denge sabiti "$K_c$"değerini artırır.

**b)** Dengedeki sistem soğutulduğunda sıcaklığı azalır. Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltmak için net tepkime girenler yönüne ilerler. Tepkimeye girenlerin derişimi artarken ürünlerin derişimi azalır. Dolayısıyla endotermik denge tepkimesinde sıcaklık azalışı denge sabiti "$K_c$" değerini azaltır.

**Hatırlatma**



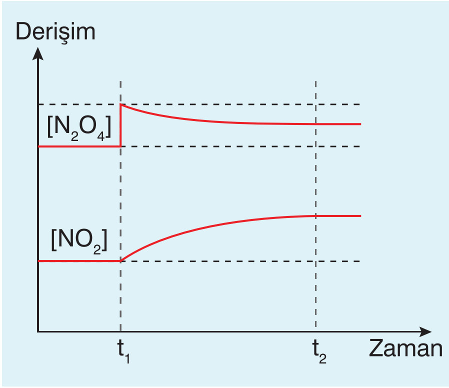
*Isı, denge tepkimelerinde girenler veya ürünler tarafında yazılabilir. Sistem ısıtıldığında ısının, sisteme madde eklenmesi, sistem soğutulduğunda ise ısının, sistemden madde uzaklaştırılması gibi düşünülmesi, tepkime yönünün belirlenmesinde kolaylık sağlayacaktır.*

### 6.2.3 DERİŞİMİN DENGEYE ETKİSİ

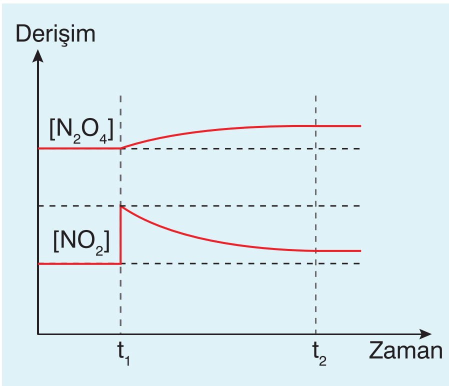
Dengedeki bir sisteme girenlerden veya ürünlerden birinin eklenmesi ya da girenlerden veya ürünlerden birinin uzaklaştırılması hâlinde net tepkimenin Le Chatelier İlkesi'ne göre hangi yöne ilerleyeceğini aşağıdaki denge tepkimesini ele alarak açıklayalım.



$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$




*Grafik 6.2.5:* $N_2O_4$ derişimi artırıldığında oluşan derişim-zaman grafiği




*Grafik 6.2.6:* $NO_2$ derişimi artırıldığında oluşan derişim-zaman grafiği

## Bilgi Notu

*Dengedeki sistemde girenlerden biri uzaklaştırıldığında (Örnek 11.b'de olduğu gibi) Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltacak yönde yani girenler yönüne ilerler. Bu durumda, tepkimede uzaklaştırılan girenin derişimi artar. Ancak yeni denge durumunda girenin derişimi, başlangıçtaki derişiminden azdır. Yeni denge durumunda diğer girenlerin derişimi ise başlangıçtaki derişimlerinden fazladır. Bu durum, dengedeki sistemde ürünlerin uzaklaştırılmasında da geçerlidir.*

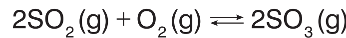
Dengedeki sisteme $N_2O_4$ eklenmesi hâlinde denge oranı "$Q_c$" değeri denge sabiti "$K_c$" değerinden küçük ($Q_c < K_c$) olur. Bu durumda Le Chatelier İlkesi'ne göre denge yeniden kuruluncaya kadar net tepkime $NO_2$ oluşumu yönünde ilerler. Tepkimede $N_2O_4$ derişimi azalırken $NO_2$ derişimi artar (Grafik 6.2.5). Dengedeki sisteme $NO_2$ eklenmesi hâlinde ise denge oranı "$Q_c$" değeri denge sabiti "$K_c$" değerinden büyük ($Q_c > K_c$) olur. Bu durumda da Le Chatelier İlkesi'ne göre denge yeniden kuruluncaya kadar net tepkime $N_2O_4$ oluşumu yönünde ilerler. Tepkimede $N_2O_4$ derişimi artarken $NO_2$ derişimi azalır (Grafik 6.2.6).

Dengeki sistemden $N_2O_4$ uzaklaştırılması hâlinde denge oranı "$Q_c$" değeri denge sabiti "$K_c$" değerinden büyük ($Q_c > K_c$) olacağından Le Chatelier İlkesi'ne göre denge yeniden kuruluncaya kadar net tepkime $N_2O_4$ oluşumu yönünde ilerler. Dengedeki sistemden $NO_2$ uzaklaştırılması hâlinde ise denge oranı "$Q_c$" değeri denge sabiti "$K_c$" değerinden küçük ($Q_c < K_c$) olacağından Le Chatelier İlkesi'ne göre denge yeniden kuruluncaya kadar net tepkime $NO_2$ oluşumu yönünde ilerler.

Dengedeki sisteme derişim değişimi bakımından bir etki yapıldığında bu durum aşağıdaki gibi genelleştirilebilir:

- Dengedeki sisteme, girenlerden biri eklendiğinde net tepkime ürünler yönüne ilerler. Dengedeki sistemden girenlerden biri uzaklaştırıldığında net tepkime girenler yönüne ilerler.
- Dengedeki sisteme, ürünlerden biri eklendiğinde net tepkime girenler yönüne ilerler. Dengedeki sistemden ürünlerden biri uzaklaştırıldığında net tepkime ürünler yönüne ilerler.

## Örnek 11


$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

**Yukarıda verilen dengedeki sisteme aşağıdaki değişimler uygulandığında tepkimenin hangi yöne ilerleyeceğini belirleyiniz.**

**a) $SO_2$ eklenmesi** **b) $O_2$ uzaklaştırılması**

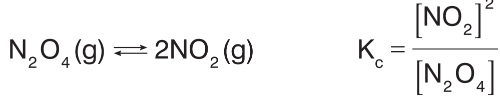
## Çözüm 11

**a)** Dengedeki sisteme, girenlerden $SO_2$ eklendiğinde Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltacak yönde yani ürünler yönüne ilerler.

**b)** Dengeki sistemden girenlerden $O_2$ uzaklaştırıldığında Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltacak yönde yani girenler yönüne ilerler.

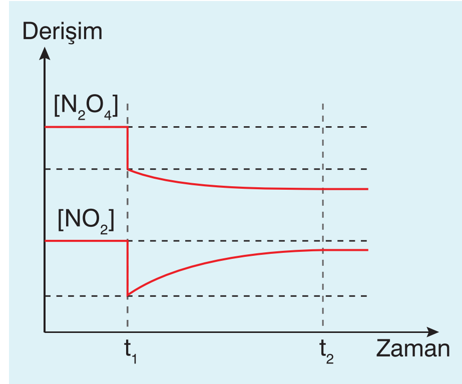
## 6.2.4 HACMİN DENGEYE ETKİSİ

Sabit sıcaklıkta hareketli pistonla kapatılmış kap içerisinde aşağıdaki denge tepkimesinin gerçekleştiğini ve sistemin dengede olduğunu kabul edelim:



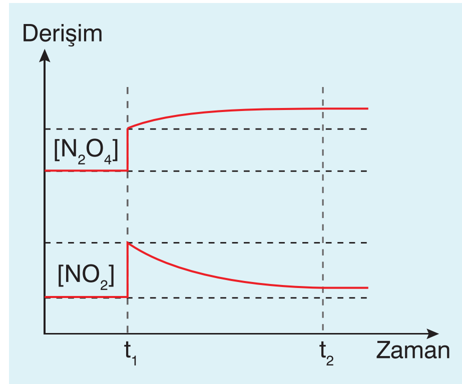
$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g) \qquad K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

Sabit sıcaklıkta piston yukarı çekilerek (basınç azaltılarak) hacim artırıldığında sistemdeki $N_2O_4$ ve $NO_2$ gazlarının derişimleri azalır (Grafik 6.2.7). Denge denklemi eşitliğinde $NO_2$ gazı derişiminin ikinci kuvveti, $N_2O_4$ gazı derişiminin birinci kuvveti yer almaktadır. Hacim artırıldığında denge denklemi eşitliğinin payı paydasından daha fazla azalır. Bu durumda denge oranı "$Q_c$" değeri denge sabiti "$K_c$" değerinden küçük ($Q_c < K_c$) olur. Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltabilmek için $Q_c = K_c$ oluncaya kadar net tepkime mol sayısının fazla olduğu $NO_2$ oluşumu yönünde ilerler.




***Grafik 6.2.7:*** Hacim artırıldığında oluşan derişim-zaman grafiği

Sabit sıcaklıkta piston aşağı itilerek (basınç artırılarak) hacim azaltıldığında ise sistemdeki $N_2O_4$ ve $NO_2$ gazlarının derişimleri artar (Grafik 6.2.8). Denge denklemi eşitliğinin payı paydasından daha fazla artar. Bu durumda denge oranı "$Q_c$" değeri denge sabiti "$K_c$" değerinden büyük ($Q_c > K_c$) olur. Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltabilmek için $Q_c = K_c$ oluncaya kadar net tepkime mol sayısının az olduğu $N_2O_4$ oluşumu yönünde ilerler.

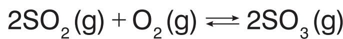



***Grafik 6.2.8:*** Hacim azaltıldığında oluşan derişim-zaman grafiği

Dengedeki sisteme hacim değişimi bakımından bir etki yapıldığında bu durum aşağıdaki gibi genelleştirilebilir:

- Dengedeki sistemin hacmi artırıldığında net tepkime toplam mol sayısı fazla olan gazların olduğu yöne ilerler.
- Dengedeki sistemin hacmi azaltıldığında net tepkime toplam mol sayısı az olan gazların olduğu yöne ilerler.

**Örnek 12**



$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$

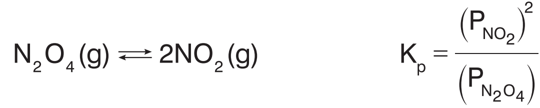
**Yukarıda verilen denge tepkimesine göre sabit sıcaklıkta dengedeki sistemin hacmi azaltıldığında net tepkimenin yönünü belirleyiniz.**

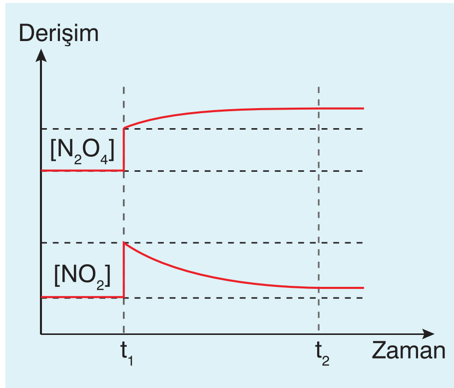
**Çözüm 12**

Tepkimeye girenlerin toplam mol sayısı 3, ürünlerin toplam mol sayısı 2'dir. Bu nedenle hacim azaltıldığında Le Chatelier İlkesi'ne göre net tepkime mol sayısı az olan ürünler yönüne ilerler.

## 6.2.5 KISMİ BASINCIN VE TOPLAM BASINCIN DENGEYE ETKİSİ

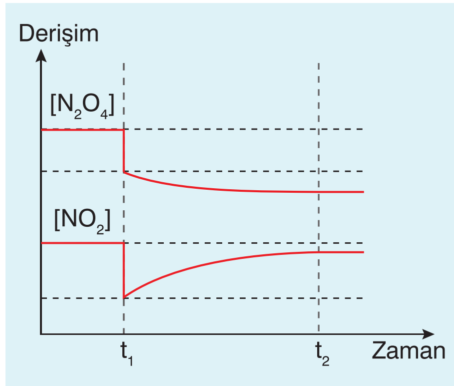
Sabit sıcaklıkta hareketli pistonla kapatılmış kap içerisinde aşağıdaki denge tepkimesinin gerçekleştiğini ve sistemin dengede olduğunu kabul edelim:




***Grafik 6.2.9:*** Basınç artırıldığında oluşan derişim-zaman grafiği

Sabit sıcaklıkta piston aşağı itilerek (hacim azaltılarak) basınç artırıldığında sistemdeki $N_2O_4$ ve $NO_2$ gazlarının kısmi basıncı artar. Dolayısıyla gazların derişimleri de artar (Grafik 6.2.9). Bu durumda denge denklemi eşitliğinin payı paydasından daha fazla artar. Sistemdeki denge oranı "$Q_c$" değeri denge sabiti "$K_c$" değerinden büyük ($Q_c > K_c$) olur. Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltabilmek için $Q_c = K_c$ oluncaya kadar net tepkime mol sayısının az olduğu $N_2O_4$ oluşumu yönünde ilerler.



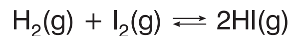

***Grafik 6.2.10:*** Basınç azaltıldığında oluşan derişim-zaman grafiği

Sabit sıcaklıkta piston yukarı çekilerek (hacim artırılarak) basınç azaltıldığında sistemdeki $N_2O_4$ ve $NO_2$ gazlarının kısmi basıncı azalır. Dolayısıyla gazların derişimleri de azalır (Grafik 6.2.10). Basınç azaltıldığında denge denklemi eşitliğinin payı paydasından daha fazla azalır. Bu durumda denge oranı "$Q_c$" değeri denge sabiti "$K_c$" değerinden küçük ($Q_c < K_c$) olur. Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltabilmek için $Q_c = K_c$ oluncaya kadar net tepkime mol sayısının fazla olduğu $NO_2$ oluşumu yönünde ilerler.

Denge hâlindeki sisteme basınç değişimi bakımından bir etki yapıldığında bu durum aşağıdaki gibi genelleştirilebilir:

- Dengedeki sistemin basıncı artırıldığında net tepkime toplam mol sayısı az olan gazların olduğu yöne ilerler.
- Dengedeki sistemin basıncı azaltıldığında net tepkime toplam mol sayısı fazla olan gazların olduğu yöne ilerler.

Bazı denge tepkimelerinde gaz hâldeki tepkimeye girenlerin ve ürünlerin mol sayıları aşağıdaki denge tepkimesinde olduğu gibi birbirine eşittir:




Tepkimede girenlerin toplam mol sayısı ürünlerin toplam mol sayısına eşittir ($\Delta n = 0$). Bu nedenle bu tür denge tepkimeleri basınç veya hacim değişiminden etkilenmez.

Sabit sıcaklıkta, sabit hacimli dengedeki sisteme tepkimeye girmeyen (inert) bir gaz eklendiğinde sistemin toplam basıncı artar. Ancak dengedeki gazların derişimleri değişmeyeceğinden kısmi basınçları da değişmez. Bu nedenle sabit hacimli dengedeki sisteme tepkimeye girmeyen bir gaz eklendiğinde dengedeki sistem bu değişimden etkilenmez.

Sabit sıcaklıkta, sabit basınçlı dengedeki sisteme tepkimeye girmeyen bir gaz eklendiğinde hacim artar. Dolayısıyla dengedeki gazların derişimleri azalacağından kısmi basınçları da azalır. Le Chatelier İlkesi'ne göre sistem bu etkiyi azaltabilmek için net tepkime mol sayısının fazla olduğu yöne ilerler.

**Uyarı**



*Le Chatelier İlkesi, dengedeki sistemlere yapılacak her dış etkiye bir tepki vereceği şeklinde bazen yanlış yorumlanabilmektedir. Örneğin sabit sıcaklıkta ve hacimde gaz fazında gerçekleşen bir tepkimeye ait dengenin, sisteme asal gaz eklenerek bozulacağı yanılgısı çok yaygındır. Oysa bu tür dengedeki sistemler, sadece denge denkleminde yer alan değişkenleri etkileyen faktörlere cevap verir.*

**Örnek 13**



$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

**Yukarıda verilen denge tepkimesine göre sabit sıcaklıkta dengedeki sistemin basıncı artırıldığında net tepkimenin yönünü belirleyiniz.**

**Çözüm 13**

Tepkimeye girenlerin toplam mol sayısı 1, ürünlerin toplam mol sayısı 2'dir. Bu nedenle basınç artırıldığında Le Chatelier İlkesi'ne göre net tepkime mol sayısı az olan girenler yönüne ilerler.

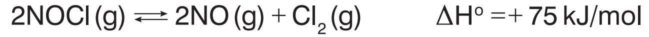
## 6.2.6 KATALİZÖR-DENGE İLİŞKİSİ

Katalizörler hem ileri hem de geri yöndeki tepkimenin aktifleşme enerjisini aynı miktarda düşürdüğünden hem ileri hem de geri yöndeki tepkimenin hızını da aynı miktarda artırır. Bu nedenle ileri ve geri yöndeki hız sabitleri oranı olan "$K_c$" değeri değişmez. Sıcaklık sabit kaldığı sürece henüz dengede olmayan tepkime ortamına katalizör eklenmesi sistemin dengeye daha kısa sürede ulaşmasını sağlar. Ancak katalizör dengedeki sisteme etki ederek tepkimeyi ürünler ya da girenler yönüne ilerletmez. Diğer bir ifadeyle katalizör dengeye etki etmez.

## 6.2.7 LE CHATELİER İLKESİ'NİN DENGE TEPKİMELERİNDE İRDELENMESİ

Dengedeki sisteme dışarıdan bir etki yapıldığında Le Chatelier İlkesi'ne göre sistemin bu etkiyi nasıl azaltacağına ilişkin örnek 14'ü (s. 232) irdeleyelim.

**Örnek 14**


$2NOCl(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + Cl_2(g) \qquad \Delta H^o = +75\ kJ/mol$

**Yukarıdaki tepkimenin gerçekleştiği hareketli pistonla kapatılmış kapta bulunan denge sistemine aşağıdaki işlemler uygulandığında, net tepkimenin hangi yöne ilerleyeceğini belirtiniz.**

**a) NO eklenmesi**

**b) $Cl_2$ uzaklaştırılması**

**c) Basıncın artırılması**

**ç) Hacmin artırılması**

**d) Sıcaklığın azaltılması**

**e) Katalizör eklenmesi**

**Çözüm 14**

**a)** Dengedeki sisteme NO eklendiğinde, sistemde NO'in derişimi artar. Sistem bu etkiyi azaltacak yönde yani girenler yönüne ilerler. NO ve $Cl_2$ gazları tepkimeye girerek derişimleri azalırken NOCl gazının derişimi artar. Denge yeniden kurulur.

**b)** $Cl_2$ gazı uzaklaştırıldığında, sistemde $Cl_2$ gazının derişimi azalır. Sistem bu etkiyi azaltacak yönde yani ürünler yönüne ilerler. NO ve $Cl_2$ gazları derişimleri artarken NOCl gazının derişimi azalır. Denge yeniden kurulur.

**c)** Basınç artırıldığında net tepkime, gaz fazında toplam mol sayısı az olan yöne yani girenler yönüne ilerler.

**ç)** Hacim artırıldığında net tepkime, toplam mol sayısı fazla olan yöne yani ürünler yönüne ilerler.

**d)** Denge tepkimesi endotermiktir. Endotermik tepkimede dışarıdan ısı alınır. Dışarıdan alınan ısı, tepkimeye giren bir madde gibi düşünülürse tepkimenin sol tarafında yer alır. Bu durumda, denge tepkimesi aşağıdaki gibi yazılabilir:


$2NOCl(g) + 75\ kJ/mol \rightleftharpoons 2NO(g) + Cl_2(g)$

Dengedeki sistemin sıcaklığı azaltıldığında, tıpkı sistemden tepkimeye girenlerden biri uzaklaştırılmış gibi denge bu etkiyi azaltacak yönde yani girenler yönüne ilerler.

**e)** Dengedeki sisteme katalizör eklenmesi dengeyi etkilemez.

# 3. Bölüm

## SULU ÇÖZELTİ DENGELERİ

### Konular





### Bölümde

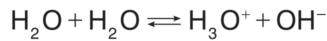
Sulu çözeltilerin doğada çok önemli bir yeri vardır. Çünkü okyanuslarda, denizlerde, göllerde ve daha küçük hacimli sularda çok sayıda kimyasal tepkimeler meydana gelir. Yine canlıların en küçük yapı taşı olan hücrelerde hayati tepkimeler sulu çözeltilerde meydana gelir. İnsanoğlu, doğmadan önce henüz anne karnında iken kendisini koruyan ve besleyen sulu çözeltilerle dolu keseciklerde gelişir.

Kimyanın en önemli bileşik sınıfının ikisini asitler ve bazlar oluşturur. Sulu çözeltilerde asit-baz tepkimeleri, kimyasal ve biyolojik sistemlerde yer alan en önemli süreçlerdendir. Öyle ki vücuttaki birçok kimyasal olayın, asitler ve bazlar arasında gerçekleşen tepkimeler olduğunu söylemek fazla abartılı olmasa gerek. Günlük hayatta tüketilen meyve ve sebzeler, sirke, bazı ilaçlar, kullanılan sabun, tuz ruhu, şampuan, çamaşır suyu, kireç taşı gibi daha sayılamayacak kadar birçok maddenin sulu çözeltileri asit ya da baz özelliği gösterir.

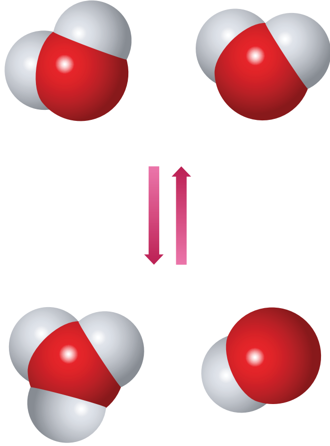
## 6.3.1 SUYUN OTO-İYONİZASYONU

Elektrik iletkenliğinin sağlanmasının yollarından biri metal atomlarında olduğu gibi elektronların akışıdır. Fakat duyarlı elektrik iletkenliği ölçümleri üzerine yapılan deneysel çalışmalarda saf suyun çok az da olsa elektriği ilettiğini göstermiştir. Bunun nedeni bazı su moleküllerinin proton ($H^+$ iyonu) alarak bazı su moleküllerinin proton vererek iyonlarına ayrışmasıdır.

Proton alan su molekülü hidronyum iyonu ($H_3O^+$) hâline gelirken proton veren su molekülü hidroksit iyonu ($OH^-$) hâline gelir. Bu dönüşümün tepkimesi aşağıdaki gibi gösterilir:



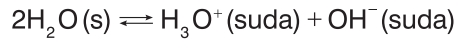
$$H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$



**Şekil 6.3.1:** Suyun *oto-iyonizasyonunun* molekül modeli ile gösterimi

Yukarıdaki denge tepkimesinde de anlaşılacağı gibi saf suyun kendi kendine iyonlaşarak $H_3O^+$ ve $OH^-$ iyonlarını oluşturması olayına **suyun oto-iyonizasyonu** denir.

Suyun oto-iyonizasyon denge tepkimesinin sulu ortamdan gerçekleştiği düşünüldüğünde denge tepkimesi aşağıdaki gibi yazılabilir:



$$2H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + OH^-(suda)$$

Suyun oto-iyonizasyon tepkimesine ait denge denklemi ise şöyledir:

$$K_c = \frac{[H_3O^+][OH^-]}{[H_2O]^2}$$

Katı ve sıvıların derişimleri sabit olduğundan denge denklemlerinde yer almaz. Buna göre suyun oto-iyonizasyon tepkimesine ait denge denklemi yeniden düzenlenirse;

$$K_c[H_2O]^2 = [H_3O^+][OH^-]$$

eşitliği elde edilir. Eşitlikteki $K_c$ $[H_2O]^2$ değeri yeni bir sabit değer olan "$K_{su}$" ile gösterilebilir. "$K_{su}$" değerine **suyun oto-iyonizasyon denge sabiti** denir. Suyun oto-iyonizasyon denge denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$K_{su} = [H_3O^+][OH^-]$$

Yazım kolaylığı için $H_3O^+$ iyonu yerine $H^+$ iyonu kullanılır. Bu durumda suyun oto-iyonizasyon dengesi ve denge denklemi aşağıdaki gibi de yazılabilir:



$$H_2O(s) \rightleftharpoons H^+(suda) + OH^-(suda)$$

$$K_{su} = [H^+][OH^-]$$

**Uyarı**



*Sulu çözeltilerdeki denge tepkimelerinde iyonların sembollerinin sağ altına "suda" veya "aqua" yazılır. Eğer bu ifadeler varsa iyonik maddelerin sulu ortamda bulunduğu anlaşılmalıdır.*

Suyun oto-iyonizasyonunda $H_3O^+$ iyonunun oluşumuna her zaman $OH^-$ iyonunun oluşumu eşlik eder. Böylece saf suda $H_3O^+$ iyonu derişimi her zaman $OH^-$ iyonu derişimine eşittir. Deneyler sonucunda 25 °C'ta saf sudaki $H_3O^+$ ve $OH^-$ iyonları derişiminin $1,0 \cdot 10^{-7}$ M olduğu bulunmuştur.

Bu derişim değerleri "$K_{su}$" ifadesinde yerlerine yazılırsa aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$K_{su} = [H_3O^+][OH^-] = (1,0 \cdot 10^{-7})(1,0 \cdot 10^{-7})$$

$$K_{su} = 1,0 \cdot 10^{-14}$$



**Uyarı**

*Saf suda veya çözünmüş kimyasal türleri içeren sulu bir çözeltide 25 °C'ta aşağıdaki sayısal değer daima sabittir:*

$$K_{su} = 1,0 \cdot 10^{-14}$$

**Örnek 15**

**25 °C'taki amonyak çözeltisinde $OH^-$ iyonlarının derişimi $2,5 \cdot 10^{-2}$ M'dır. Bu çözeltideki $H_3O^+$ iyonları derişimini hesaplayınız.**

**Çözüm 15**

$$K_{su} = [H_3O^+][OH^-] \Rightarrow [H_3O^+] = \frac{K_{su}}{[OH^-]} = \frac{1,0 \cdot 10^{-14}}{2,5 \cdot 10^{-2}} = 4,0 \cdot 10^{-13}\ M$$

## 6.3.2 pH VE pOH KAVRAMLARI

Asidik ve bazik çözeltilerin derişimlerini nicel olarak ifade etmedeki en önemli zorluk, $H_3O^+$ ve $OH^-$ iyonları derişimlerinin genellikle çok küçük sayılar olmasıdır. Dolayısıyla deneysel olarak böyle sayılarla çalışılması oldukça güçtür. Bu nedenle 1909 yılında Søren Sørensen (Soren Sorensen, Resim 6.3.1), kullanımı daha pratik olan pH ve pOH kavramlarını önerdi. **pH**, bir çözeltide $H^+$ iyonu derişiminin negatif logaritması, **pOH** ise bir çözeltide $OH^-$ iyonları derişiminin negatif logaritması olarak tanımlanır.

Bir çözeltideki $H_3O^+$ iyonları derişimi ölçülmüşse pH değeri, $OH^-$ iyonları derişimi ölçülmüşse pOH değeri hesaplanabilir. pH ve pOH değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

$$pOH = -\log[OH^-]$$

25 °C'ta saf suyun oto-iyonizasyonunda,

$[H_3O^+] = [OH^-] = 1,0 \cdot 10^{-7}$

olduğuna göre saf suyun pH ve pOH değerleri şöyle hesaplanır:

| | |
|---|---|
| $pH = -\log [H_3O^+]$ | $pOH = -\log [OH^-]$ |
| $pH = -\log 1,0 \cdot 10^{-7}$ | $pOH = -\log 1,0 \cdot 10^{-7}$ |
| $pH = 7$ | $pOH = 7$ |



*Resim 6.3.1:* Søren Sørensen'in (1868-1939) endüstride çözelti hâlindeki maddelerin kalite kontrolü çalışmaları sırasında önerdiği pH kavramı, fen bilimleri başta olmak üzere tıp, tarım, mühendislik gibi alanlarda kullanılmaktadır.

## Bilgi Notu

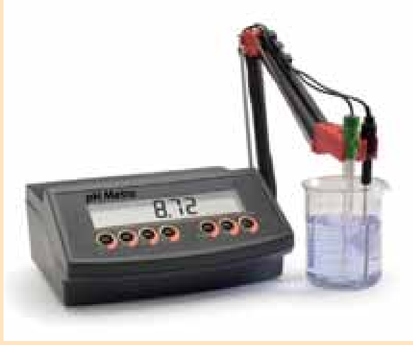
*log(0) = 1*

*log(10 ^a^) = a*

*log(a · b) = log(a) + log(b)*

## Bilgi Notu

*Çözeltilerin pH değerini ölçmek için laboratuvarlarda yaygın olarak pH metre kullanılır.*




pH ve pOH arasındaki ilişki saf suyun oto-iyonizasyon denge denkleminden aşağıdaki gibi türetilebilir:

$[H_3O^+]\ [OH^-] = 1,0 \cdot 10^{-14}$

$(-\log [H_3O^+]) + (-\log [OH^-]) = -\log 1,0 \cdot 10^{-14}$

$pH + pOH = 14$

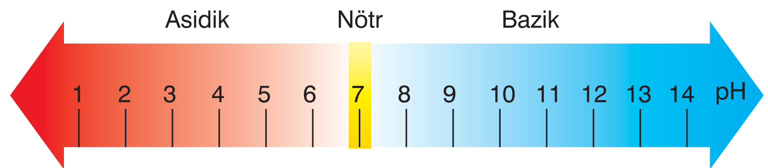
pH, $H_3O^+$ iyonu derişimini ifade etmenin pratik bir yolu olduğundan çözeltiler 25 °C'ta pH değerlerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

Asidik çözeltiler : $[H_3O^+] > 1,0 \cdot 10^{-7}$ M, $pH < 7$

Bazik çözeltiler : $[H_3O^+] < 1,0 \cdot 10^{-7}$ M, $pH > 7$

Nötr çözeltiler : $[H_3O^+] = 1,0 \cdot 10^{-7}$ M, $pH = 7$

Şekil 6.3.2'de pH ölçeği görülmektedir. Dikkat edilecek olursa düşük pH değerlerindeki çözeltiler asidik özelliğe sahipken yüksek pH değerlerine sahip çözeltiler bazik özelliğe sahiptir.




***Şekil 6.3.2:*** pH ölçeği

Toprakta yüksek verimin elde edilmesi, suda yaşayan canlıların hayatlarını devam ettirebilmesi, insan vücudundaki tüm metabolik işlemlerde ve daha birçok olayda asitliğin veya bazlığın belirli bir pH aralığında tutulması oldukça önemlidir.

### Örnek 16

**Belirli bir bölgeye yağan yağmurdan alınan numunenin pH değeri 6 olarak ölçülmüştür. Bu numunedeki $H_3O^+$ ve $OH^-$ iyonları derişimini hesaplayınız.**

### Çözüm 16

$H_3O^+$ iyonu derişimi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$pH = -\log [H_3O^+]$$
$$6 = -\log [H_3O^+]$$
$$[H_3O^+] = 1,0 \cdot 10^{-6}\ M$$

$OH^-$ iyonu derişimi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$pH + pOH = 14$$
$$6 + pOH = 14$$
$$pOH = 14 - 6 = 8$$
$$pOH = -\log [OH^-]$$
$$8 = -\log [OH^-]$$
$$[OH^-] = 1,0 \cdot 10^{-8}\ M$$

**Örnek 17**

**Sabunlu su numunesinde $OH^-$ iyonları derişimi $1,0 \cdot 10^{-2}$ M'dır. Numunenin pH ve pOH değerlerini hesaplayınız.**

**Çözüm 17**

pOH değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$pOH = -\log[OH^-]$

$pOH = -\log(1,0 \cdot 10^{-2})$

$pOH = 2$

pH değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$pH + pOH = 14$

$pH + 2 = 14$

$pH = 14 - 2$

$pH = 12$

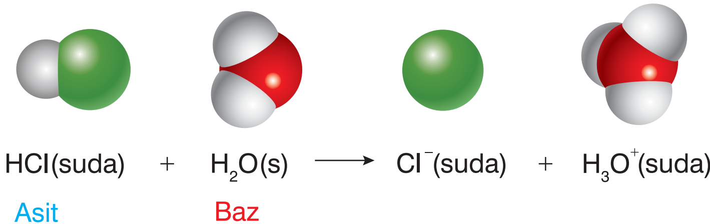
**Alıştırma 6**

1. **pH değeri 5 olan bir çözeltinin $H_3O^+$ ve $OH^-$ iyonları derişimini hesaplayınız.**
2. **Derişimi 0,1 M olan NaOH çözeltisinin pH ve pOH değerlerini hesaplayınız.**

## 6.3.3 BRØNSTED-LOWRY ASİTLERİ VE BAZLARI

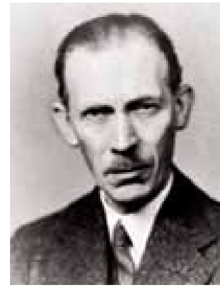
Asit-baz kavramına ilişkin ilk yararlı tanım 1884 yılında İsveçli kimyacı Svante Arrhenius (Svante Arhenyus) tarafından yapıldı. Arrhenius'un yaptığı ilk asit-baz tanımı sadece sulu çözeltilere özgü olması nedeniyle yetersiz kalmaktaydı. Çünkü kimyacılar sıvı amonyak gibi su içermeyen çözücülerle çalıştıklarında asit-baz davranışı gösteren birçok madde keşfetmişlerdi.

1923 yılında Danimarkalı kimyacı Johannes Brønsted (Yuhannes Brönşted) ve İngiliz kimyacı Thomas Lowry (Tamıs Lavri) (Resim 6.3.2), asit-baz davranışından sorumlu temel olayın, bir maddeden diğerine proton aktarımı olduğunu ifade ederek yeni bir asit-baz tanımı önerdiler. Brønsted-Lowry asit-baz tanımına göre proton veren maddelere **asit**, proton alan maddelere **baz** denir. Şimdi, bu tanıma göre HCl bileşiğinin $H_2O$ ile verdiği aşağıdaki tepkimeyi irdeleyelim:



$HCl(suda) + H_2O(s) \longrightarrow Cl^-(suda) + H_3O^+(suda)$

Asit    Baz



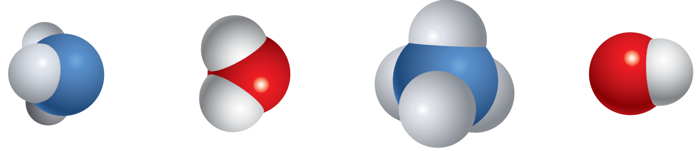

*Resim 6.3.2:* Johannes Brønsted (solda, 1879-1947) ve Thomas Lowry (sağda, 1874-1936) aynı tarihlerde birbirlerinden bağımsız olarak önerdikleri asit-baz tanımı, "Brønsted-Lowry asit-baz teorisi" olarak bilinir. Kimya kaynaklarının birçoğunda asitler "Brønsted asidi", bazlar ise "Brønsted bazı" olarak nitelendirilir.

**Hatırlatma**



*10. sınıf Kimya dersinin "Asitler, Bazlar ve Tuzlar" ünitesinde Arrhenius'un asit-baz tanımı yapılmış, suda çözündüğünde $H^+$ iyonu oluşturan bileşikler **asit**, suda çözündüğünde $OH^-$ iyonu oluşturan bileşikler **baz** olarak tanımlanmıştı.*

HCl suda çözündüğü zaman her bir HCl molekülü $H_2O$ molekülüne proton verdiğinden asit, $H_2O$ molekülü de HCl molekülünden proton aldığından bazdır. Dengede HCl moleküllerinin tamamı protonlarını $H_2O$ moleküllerine verdiğinden tepkime yalnızca ileri yönlüdür. Bu nedenle tepkime tek yönlü ok ile gösterilir. Şimdi de $NH_3$ bileşiğinin $H_2O$ molekülü ile verdiği aşağıdaki tepkimeyi irdeleyelim:





$$NH_3(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_4^+(suda) + OH^-(suda)$$

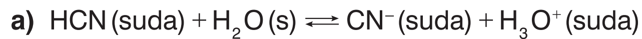
Baz Asit

$NH_3$ suda çözündüğü zaman, her bir $H_2O$ molekülü $NH_3$ molekülüne bir proton verdiğinden asit, $NH_3$ molekülü de $H_2O$ molekülünden proton aldığından bazdır. Dengede $NH_3$ moleküllerinin çok küçük bir oranı proton alarak $NH_4^+$ iyonuna dönüştüğünden tepkime hem ileri hem de geri yönlüdür. Bu nedenle tepkime çift yönlü ok ile gösterilir.

Günümüzde, tüketilen gıdalardan temizlik maddelerine kadar sayısız kimyasal madde ya asit ya da baz özelliği gösterir. Kimyanın diğer konularında olduğu gibi asitlerin ve bazların tanımlanmasına yönelik bilim insanlarınca birçok deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bilimsel gelişmeler ancak bilime inanmakla ve bilim insanlarına saygı duymakla mümkündür. Saygılı bir birey diğer insanlara olduğu gibi bilim insanlarına karşı da edeplidir, naziktir ve anlayışlıdır. Bilim insanları ile karşılaşıldığında hürmet eder, ölçülü davranır ve itibar eder.

## Örnek 18

**Aşağıdaki denge tepkimelerinde tepkimeye giren maddeleri asit veya baz olarak belirleyiniz.**



**a)** $HCN(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons CN^-(suda) + H_3O^+(suda)$

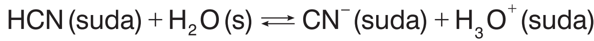


**b)** $CO_3^{2-}(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons HCO_3^-(suda) + OH^-(suda)$

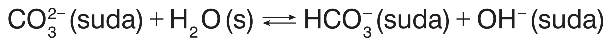
## Çözüm 18

Brønsted-Lowry asit-baz tanımına göre proton veren maddeler asit, proton alan maddeler bazdır. Buna göre tepkimelerde hangi maddenin proton verdiğini, hangi maddenin proton aldığını belirleyelim.

**a)** HCN proton veren, $H_2O$ proton alan maddedir. O hâlde, HCN asit, $H_2O$ bazdır.



$$HCN\,(suda) + H_2O\,(s) \rightleftharpoons CN^-\,(suda) + H_3O^+\,(suda)$$




**b)** $CO_3^{2-}$ proton alan, $H_2O$ proton veren maddedir. O hâlde, $H_2O$ asit, $CO_3^{2-}$ bazdır.

$$CO_3^{2-}\,(suda) + H_2O\,(s) \rightleftharpoons HCO_3^-\,(suda) + OH^-\,(suda)$$

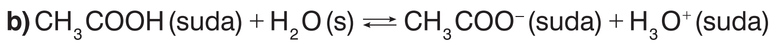
Baz Asit

## Alıştırma 7

**Aşağıdaki denge tepkimelerinde tepkimeye giren maddeleri asit veya baz olarak belirleyiniz.**



**a)** $HCO_3^-\,(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_2CO_3(suda) + OH^-(suda)$



**b)** $CH_3COOH\,(suda) + H_2O\,(s) \rightleftharpoons CH_3COO^-\,(suda) + H_3O^+\,(suda)$

## 6.3.4 ASİTLERİN VE BAZLARIN KUVVETİ

Brønsted-Lowry asit-baz teorisine göre bir asidin kuvveti, protonlarını çözücüye vererek iyonlaşmasının büyüklüğüne bağlıdır. HCl, protonlarının tamamını suya verip iyonlaşırken çözeltinin $H_3O^+$ iyonu derişimini büyük oranda artırır. $CH_3COOH$ ise HCl'in aksine, protonlarını kısmen suya verip iyonlaşırken çözeltinin $H_3O^+$ iyonu derişimini çok düşük oranda artırır. Bu nedenle HCl'in pH değeri, $CH_3COOH$'in pH değerinden düşük olur.

Suda çözündüğünde tamamen iyonlaşabilen asitlere **kuvvetli asitler**, suda çözündüğünde kısmen iyonlaşabilen asitlere **zayıf asitler** denir. Örneğin $HClO_4$, HI, HCl, HBr, $H_2SO_4$ gibi asitler kuvvetli asitler, HF, $CH_3COOH$, $H_2CO_3$, HCN gibi asitler ise zayıf asitlerdir.

Brønsted-Lowry asit-baz teorisine göre bir bazın kuvveti de çözücüden protonları alarak iyonlaşmasının büyüklüğüne bağlıdır. NaOH, sudan proton alarak tamamen iyonlaşırken çözeltinin $OH^-$ iyonu derişimini büyük oranda artırır. $NH_3$ ise NaOH'in aksine, sudan çok az proton alarak kısmen iyonlaşırken çözeltinin $OH^-$ iyonu derişimini çok düşük oranda artırır. Dolayısıyla NaOH'in pH değeri, $NH_3$'ın pH değerinden yüksek olur. Suda çözündüğünde tamamen iyonlaşabilen bazlara **kuvvetli bazlar**, suda çözündüğünde kısmen iyonlaşabilen bazlara **zayıf bazlar** denir. Örneğin NaOH, KOH, $Ba(OH)_2$ gibi bazlar kuvvetli bazlar, $NH_3$, $CH_3NH_2$ gibi bazlar zayıf bazlardır.

### Konjuge (Eşlenik) Asit-Baz Çifti Kavramı

Asit ve bazlar için yapılan Brønsted-Lowry asit-baz tanımının bir uzantısı ise konjuge (eşlenik) asit-baz çifti kavramıdır. Asit-baz denge tepkimeleri, Brønsted-Lowry asit-baz tanımına göre proton alışverişine dayandığından, tepkimeye girenler ile ürünler arasında bir proton farkın olduğu görülür. Örneğin aşağıdaki denge tepkimesinden de anlaşılacağı gibi baz olarak davranan $NH_3$ molekülü ile asit olarak davranan $NH_4^+$ iyonu arasındaki proton farkı 1'dir. Benzer şekilde, asit olarak davranan $H_2O$ molekülü ile baz olarak davranan $OH^-$ iyonu arasında da proton farkı 1'dir. Aralarında proton farkı bulunan $NH_3$ / $NH_4^+$ çifti "1", $H_2O$ / $OH^-$ çifti "2" olarak işaretlendiğinde, denge tepkimesindeki bu dört kimyasal tür "asit" ve "baz" olarak şöyle belirtilir:


$$NH_3(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_4^+(suda) + OH^-(suda)$$

Baz (1)  Asit (2)  Asit (1)  Baz (2)



**Uyarı**

*Asit-baz denge tepkimelerinde konjuge asit-baz çiftini işaretlerken hangisinin "1" hangisinin "2" olarak işaretleneceğinin ayrıca dengenin her iki tarafındaki asit ve bazın hangi sırada yazılacağının bir öneminin olmadığını unutmayınız.*

Brønsted-Lowry asit-baz denge tepkimelerinde, aralarında bir proton fark bulunan asit-baz çiftine **konjuge (eşlenik) asit-baz çifti** denir.

Yukarıdaki denge tepkimesinden de anlaşılacağı gibi $NH_4^+$ iyonu $NH_3$ molekülünün konjuge asidi, $H_2O$ molekülü de $OH^-$ iyonunun konjuge asididir. Tersine, $NH_3$ molekülü $NH_4^+$ iyonunun konjuge bazı, $OH^-$ iyonu da $H_2O$ molekülünün konjuge bazıdır. Tablo 6.3.1'de bazı konjuge asit-baz çiftlerinin bağıl kuvvetleri verilmiştir. İnceleyiniz.

***Tablo 6.3.1:*** Bazı konjuge asit-baz çiftlerinin bağıl kuvvetleri

| Asidin adı | Asidin formülü | Bazın formülü | Bazın adı |
|---|---|---|---|
| Perklorik asit | $HClO_4$ | $ClO_4^-$ | Perklorat iyonu |
| Hidroiyodik asit | HI | $I^-$ | İyodür iyonu |
| Hidrobromik asit | HBr | $Br^-$ | Bromür iyonu |
| Hidroklorik asit | HCl | $Cl^-$ | Klorür iyonu |
| Klorik asit | $HClO_3$ | $ClO_3^-$ | Klorat iyonu |
| Nitrik asit | $HNO_3$ | $NO_3^-$ | Nitrat iyonu |
| Hidronyum iyonu | $H_3O^+$ | $H_2O$ | Su |
| Hidroflorik asit | HF | $F^-$ | Florür iyonu |
| Nitröz asit | $HNO_2$ | $NO_2^-$ | Nitrit iyonu |
| Asetik asit | $CH_3COOH$ | $CH_3COO^-$ | Asetat iyonu |
| Amonyum iyonu | $NH_4^+$ | $NH_3$ | Amonyak |
| Hidrosiyanik asit | HCN | $CN^-$ | Siyanür iyonu |
| Su | $H_2O$ | $OH^-$ | Hidroksit iyonu |

Asitlik kuvveti artar. (↑)

Bazlık kuvveti artar. (↓)

Tablo 6.3.1 incelendiğinde şu sonuca varılabilir: Asitlerin asitlik kuvveti arttıkça, konjuge bazlarının bazlık kuvveti azalmaktadır. Benzer şekilde, bazların bazlık kuvveti arttıkça, konjuge asitlerinin asitlik kuvveti azalmaktadır.

## Örnek 19

**Aşağıdaki denge tepkimelerinde yer alan maddeleri asit veya baz olarak belirtip konjuge asit-baz çiftlerini tespit ediniz.**

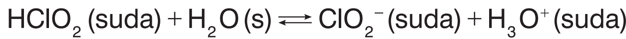
**a)** $HClO_2$ (suda) + $H_2O$ (s) $\rightleftharpoons$ $ClO_2^-$ (suda) + $H_3O^+$ (suda)

**b)** $CN^-$ (suda) + $H_2O$ (s) $\rightleftharpoons$ HCN (suda) + $OH^-$ (suda)

## Çözüm 19

Brønsted-Lowry asit-baz tanımına göre proton veren maddeler asit, proton alan maddeler bazdır. Buna göre tepkimelerde hangi maddenin proton verdiğini, hangi maddenin proton aldığını belirleyelim.

**a)** $HClO_2$ proton veren, $H_2O$ proton alan maddedir. O hâlde, $HClO_2$ asit, $H_2O$ bazdır.




Asit (1) Baz (2) Baz (1) Asit (2)

$HClO_2$ / $ClO_2^-$ ve $H_2O$ / $H_3O^+$ çiftleri konjuge asit-baz çiftleridir.

**b)** $CN^-$ iyonu proton alan, $H_2O$ proton veren maddedir. O hâlde, $CN^-$ iyonu baz, $H_2O$ asittir.




Baz (1) Asit (2) Asit (1) Baz (2)

$CN^-$ / HCN ve $H_2O$ / $OH^-$ çiftleri konjuge asit-baz çiftleridir.

## Alıştırma 8

**Aşağıdaki denge tepkimelerinde yer alan maddeleri asit veya baz olarak belirtip konjuge asit-baz çiftlerini tespit ediniz.**

**a)** HF (suda) + $H_2O$ (s) $\rightleftharpoons$ $F^-$ (suda) + $H_3O^+$ (suda)

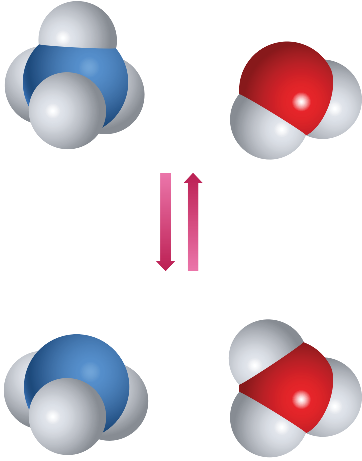
**b)** $CH_3NH_2$ (suda) + $H_2O$ (s) $\rightleftharpoons$ $CH_3NH_3^+$ (suda) + $OH^-$ (suda)

### Bilgi Notu

*Asitler karşısında baz, bazlar karşısında asit olarak davranan maddelere* ***amfoter maddeler*** *denir. "Amfoter" kelimesi Yunancada "her ikisi de" anlamına gelmektedir. Örnek 19'un çözümünde de görüleceği gibi Brønsted-Lowry asit-baz tanımına göre $H_2O$ hem asit hem de baz olarak davranmaktadır. Dolayısıyla su amfoter maddedir. Su gibi $HCO_3^-$ iyonu da amfoter özellik gösterir.*

## 6.3.5 ASİT VE BAZ GİBİ DAVRANAN İYONLAR

Asit ve bazlar sulu çözeltide proton aktarımı sonucunda katyonları ya da anyonları oluşturur. Katyonlar suya proton vererek asit gibi anyonlar da sudan proton alarak baz gibi davranabilir. $NH_3$ molekülünün sudan proton almasıyla oluşan ve bir katyon olan $NH_4^+$ iyonunun aşağıdaki suda çözünme tepkimesini ele alalım (Şekil 6.3.3).



**Şekil 6.3.3:** *$NH_4^+$(suda) + $H_2O$(s) $\rightleftharpoons$ $NH_3$(suda) + $H_3O^+$(suda) denge tepkimesinin molekül modeli ile gösterimi*

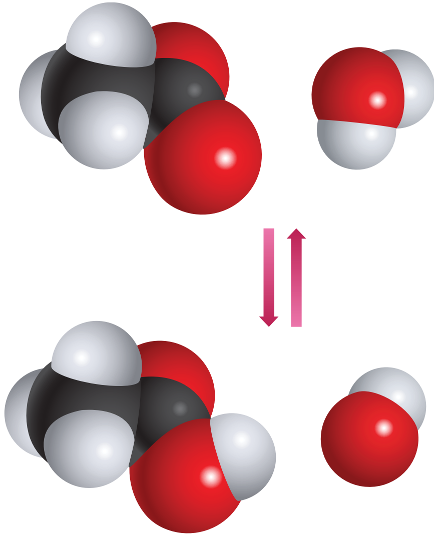


$$NH_4^+(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_3(suda) + H_3O^+(suda)$$

Asit Baz

$NH_4^+$ iyonu, $H_2O$ molekülüne bir proton vererek $NH_3$ molekülünü oluşturur. Brønsted-Lowry asit-baz tanımına göre $NH_4^+$ iyonu bir proton verdiğinden asittir. $H_2O$ molekülü de bir proton aldığından bazdır.

Şimdi de $CH_3COOH$ molekülünün suya proton vermesiyle oluşan ve bir anyon olan $CH_3COO^-$ iyonunun aşağıdaki suda çözünme tepkimesini ele alalım (Şekil 6.3.4).



**Şekil 6.3.4:** $CH_3COO^-$*(suda)* + $H_2O$(s) $\rightleftharpoons$ $CH_3COOH$(suda) + $OH^-$*(suda)* denge tepkimesinin molekül modeli ile gösterimi



$$CH_3COO^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons CH_3COOH(suda) + OH^-(suda)$$

Baz Asit

$CH_3COO^-$ iyonu, $H_2O$ molekülünden bir proton alarak $CH_3COOH$ molekülünü oluşturur. Brønsted-Lowry asit-baz tanımına göre $CH_3COO^-$ iyonu bir proton aldığından bazdır. $H_2O$ molekülü de bir proton verdiğinden asittir.

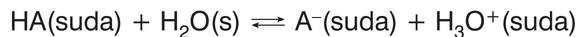
## 6.3.6 ASİTLERİN VE BAZLARIN İYONLAŞMA (AYRIŞMA) DENGE SABİTLERİ

Kuvvetli asitlerin ve bazların sayısı oldukça azdır. Asitlerin ve bazların büyük çoğunluğunu zayıf asitler ve bazlar oluşturur. Kuvvetli asitler ve bazlar suda tamamen iyonlaşabildiklerinden iyonlaşma denge denklemleri yazılmaz. Zayıf asitler ve bazlar suda kısmen iyonlaşabildiklerinden iyonlaşma denge denklemleri yazılır. Şimdi, zayıf asitlerin ve bazların kuvveti ile iyonlaşma sabitleri arasındaki ilişkiyi inceleyelim.

Tek protonlu ve genel olarak HA şeklinde gösterilen zayıf bir asidi ele alalım. Bu asidin suda iyonlaşma tepkimesi aşağıdaki gibidir:

$$HA(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons A^-(suda) + H_3O^+(suda)$$

HA asidinin iyonlaşma tepkimesine ait denge denklemi şöyle ifade edilir:



$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$$

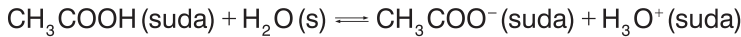
Asidin iyonlaşma tepkimesine ait denge denklemi değerine **asitlik sabiti** denir ve asitlik sabiti "$K_a$" ile gösterilir. Tablo 6.3.2'de bazı zayıf asitlerin 25 °C'ta deneysel olarak bulunan "$K_a$" değerleri verilmiştir. İnceleyiniz.

*Tablo 6.3.2:* Bazı zayıf asitlerin 25 °C'ta "$K_a$" değerleri

| Asidin adı | Asidin formülü | $K_a$ değeri |
|---|---|---|
| Nitröz asit | $HNO_2$ | $4,5 \cdot 10^{-4}$ |
| Hidroflorik asit | HF | $3,5 \cdot 10^{-4}$ |
| Asetik asit | $CH_3COOH$ | $1,8 \cdot 10^{-5}$ |
| Hipokloröz asit | HClO | $3,0 \cdot 10^{-8}$ |
| Hidrosiyanik asit | HCN | $6,2 \cdot 10^{-10}$ |

Belirli bir sıcaklıkta zayıf bir asidin kuvveti, "$K_a$" değerinin büyüklüğü ile ölçülür. "$K_a$" büyüdükçe asidin kuvveti artar. Dolayısıyla iyonlaşma nedeniyle dengedeki $H_3O^+$ iyonlarının derişimi artar. Tablo 6.3.2 incelendiğinde asitlerin asitlik sabitlerinin farklı olduğu görülür. Bunun nedeni asitlerin sulu çözeltilerinde iyonlaşma yüzdelerinin farklı olmasıdır.

Zayıf asitlerin iyonlaşma yüzdeleri "$K_a$" değerlerinden hesaplanan kimyasal türlerin derişimleri kullanılarak belirlenebilir. Denge problemlerindeki yaklaşımı kullanarak 25 °C'ta $K_a$ değeri $1,8 \cdot 10^{-5}$ olan 1,0 M $CH_3COOH$'in sulu çözeltide iyonlaşan kimyasal türlerin derişimlerini ve iyonlaşma yüzdesini hesaplayalım.



$$CH_3COOH(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons CH_3COO^-(suda) + H_3O^+(suda)$$

| | $CH_3COOH$ | $CH_3COO^-$ | $H_3O^+$ |
|---|---|---|---|
| Başlangıç: | 1,0 | – | – |
| Değişim : | –x | +x | +x |
| Denge : | 1,0 – x | x | x |

Denge tepkimesinde yer alan $CH_3COO^-$ ve $H_3O^+$ iyonlarının her birinden "x" M oluşurken dengedeki $CH_3COOH$'in iyonlaşmadan kalan derişimi "1,0 – x" M'dır. $CH_3COOH$ zayıf bir asit olduğundan çok az iyonlaşır ve iyonlaşan "x", 1,0 M yanında çok küçük bir değer olduğundan ihmal edilebilir. Dolayısıyla $CH_3COOH$ için $1,0 - x \approx 1,0$ M alınarak derişimler denge denkleminde yerlerine yazılacak olursa;

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-][H_3O^+]}{[CH_3COOH]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{1,0}$$

$$x = \sqrt{1,0 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow x = 4,2 \cdot 10^{-3}$$

$$x = [CH_3COO^-] = [H_3O^+] = 4,2 \cdot 10^{-3}\ M$$

değeri bulunur. Denge denkleminde bulunan $4,2 \cdot 10^{-3}$ M değe-

**Bilgi Notu**



*"≈" simgesinin anlamı "yaklaşık eşit"tir. 1,0 M $CH_3COOH$'ten ancak $4,2 \cdot 10^{-3}$ M'ı iyonlaşabilmektedir. Dolayısıyla iyonlaşan derişim, başlangıç derişiminin yanında ihmal edilebilir. Örneğin kömür yüklü bir kamyondan birkaç kömür parçasının düşmesi toplam kütlede önemli bir değişime neden olmaz.*

rinin anlamı şudur: 1,0 M $CH_3COOH$'in sadece $4,2 \cdot 10^{-3}$ M'ının suya protonlarını vererek iyonlaştığını gösterir. Buna göre $CH_3COOH$'in iyonlaşma yüzde oranı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$\text{İyonlaşma yüzdesi} = \frac{[H_3O^+]}{\text{Asidin başlangıç derişimi}} \cdot 100$$

**Hatırlatma**



*Asit derişimleri aynı olduğu sürece asitlerin kuvvetleri iyonlaşma yüzdelerine göre karşılaştırılabilir.*

$$\text{İyonlaşma yüzdesi} = \frac{[H_3O^+]}{[CH_3COOH]_{\text{başlangıç}}} \cdot 100$$

$$\text{İyonlaşma yüzdesi} = \frac{4,2 \cdot 10^{-3}}{1,0} \cdot 100 = \%0,42$$

Genel olarak B şeklinde gösterilen zayıf bir bazı ele alalım. Bu bazın suda iyonlaşma tepkimesi aşağıdaki gibidir:



$$B(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons BH^+(suda) + OH^-(suda)$$

B bazının iyonlaşma tepkimesine ait denge denklemi şöyle ifade edilir:

$$K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]}$$

Bazın iyonlaşma tepkimesine ait denge denklemi değerine **bazlık sabiti** denir ve bazlık sabiti "$K_b$" ile gösterilir. Tablo 6.3.3'te bazı zayıf bazların 25 °C'ta deneysel olarak bulunan "$K_b$" değerleri verilmiştir. İnceleyiniz.

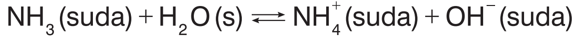
***Tablo 6.3.3:*** Bazı zayıf bazların 25 °C'ta "$K_b$" değerleri

| Bazın adı | Bazın formülü | $K_b$ değeri |
|---|---|---|
| Etilamin | $C_2H_5NH_2$ | $5,6 \cdot 10^{-4}$ |
| Metilamin | $CH_3NH_2$ | $4,4 \cdot 10^{-4}$ |
| Amonyak | $NH_3$ | $1,8 \cdot 10^{-5}$ |
| Hidroksilamin | $NH_2OH$ | $9,1 \cdot 10^{-9}$ |
| Anilin | $C_6H_5NH_2$ | $7,4 \cdot 10^{-10}$ |

Belirli bir sıcaklıkta zayıf bir bazın kuvveti, "$K_b$" değerinin büyüklüğü ile ölçülür. "$K_b$" büyüdükçe bazın kuvveti artar. Dolayısıyla iyonlaşma nedeniyle dengedeki $OH^-$ iyonlarının derişimi artar. Tablo 6.3.3 incelendiğinde bazların bazlık sabitlerinin farklı olduğu görülür. Bunun nedeni bazların sulu çözeltilerinde iyonlaşma yüzdelerinin farklı olmasıdır.

Zayıf asitlerde olduğu gibi zayıf bazların iyonlaşma yüzdeleri de "$K_b$" değerlerinden hesaplanan kimyasal türlerin derişimleri kullanılarak belirlenebilir. Yine, denge problemlerindeki yaklaşımı kullanarak 25 °C'ta $K_b$ değeri $1,8 \cdot 10^{-5}$ olan 0,1 M $NH_3$'ın sulu

çözeltide iyonlaşan kimyasal türlerin derişimlerini ve iyonlaşma yüzdesini hesaplayalım.



$$NH_3(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_4^+(suda) + OH^-(suda)$$

| | $NH_3$ | | $NH_4^+$ | $OH^-$ |
|---|---|---|---|---|
| Başlangıç: | 0,1 | | – | – |
| Değişim : | –x | | +x | +x |
| Denge : | 0,1 – x | | x | x |

Denge tepkimesinde yer alan $NH_4^+$ ve $OH^-$ iyonlarının her birinden "x" molar oluşurken dengedeki $NH_3$'ın iyonlaşmadan kalan derişimi "0,1 – x" M'dır. $NH_3$ zayıf bir baz olduğundan çok az iyonlaşır ve iyonlaşan "x", 0,1 M yanında çok küçük bir değer olduğundan ihmal edilebilir. Dolayısıyla $NH_3$ için 0,1 – x ≈ 0,1 M alınarak derişimler denge denkleminde yerlerine yazılacak olursa;

$$K_b = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{(x)(x)}{0,1}$$

$$x = \sqrt{0,1 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow x = 1,3 \cdot 10^{-3}$$

$$x = [NH_4^+] = [OH^-] = 1,3 \cdot 10^{-3}\ M$$

değeri bulunur. Denge denkleminde bulunan $1,3 \cdot 10^{-3}$ M değerinin anlamı şudur: 0,1 M $NH_3$'ın sadece $1,3 \cdot 10^{-3}$ M'ının suda proton alarak iyonlaştığını gösterir. Buna göre $NH_3$'ın iyonlaşma yüzde oranı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$\text{İyonlaşma yüzdesi} = \frac{[OH^-]}{\text{Bazın başlangıç derişimi}} \cdot 100$$

$$\text{İyonlaşma yüzdesi} = \frac{[OH^-]}{[NH_3]_{başlangıç}} \cdot 100$$

$$\text{İyonlaşma yüzdesi} = \frac{1,3 \cdot 10^{-3}}{0,1} \cdot 100 = \%1,3$$

## Alıştırma 9

**1. 0,25 M $HNO_2$ çözeltisinin iyonlaşma yüzdesini hesaplayınız** *(25 °C'ta $HNO_2$ için $K_a = 4,5 \cdot 10^{-4}$).*

**2. 0,02 M $C_2H_5NH_2$ çözeltisinin iyonlaşma yüzdesini hesaplayınız** *(25 °C'ta $C_2H_5NH_2$ için $K_b = 5,6 \cdot 10^{-4}$).*

## Biliyor musunuz?



*25 °C'ta deneysel olarak elde edilen $CH_3COOH$'in asitlik sabiti $K_a$ değeri $1,8 \cdot 10^{-5}$ tir. Aynı şartlarda $NH_3$'ın bazlık sabiti $K_b$ değeri de $1,8 \cdot 10^{-5}$ tir. Asitlik ve bazlık sabiti değerlerinin aynı olması tamamen tesadüftür.*

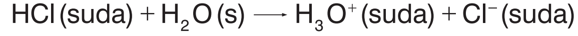
## Uyarı



*Su içindeki çözünürlük ile suda iyonlaşma yüzdesini karıştırmayınız. Bu iki kavram birbirlerinden farklıdır. Örneğin $NH_3$ suda çok çözünür ve 25 °C'ta çözünürlüğü yaklaşık 15 mol/L'dir. Oysa 0,1 M $NH_3$ çözeltisinde, $NH_3$'ın sadece %1,3'ü $NH_4^+$ ve $OH^-$ iyonlarını oluşturmak üzere iyonlaşır, %98,7'si iyonlaşmaz.*

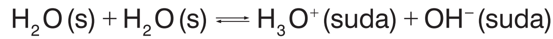
## 6.3.7 KUVVETLİ ASİT VE BAZ ÇÖZELTİLERİNDE pH HESAPLAMALARI

Kuvvetli asit ve bazlar suda çözündüğünde tamamen iyonlaşır. Örneğin kuvvetli bir asit olan HCl suda çözündüğünde $H_2O$'ya protonunu kolaylıkla vererek çözeltide $H_3O^+$ iyonu oluşturur.


$$HCl(suda) + H_2O(s) \longrightarrow H_3O^+(suda) + Cl^-(suda)$$

HCl'in iyonlaşma tepkimesinden de görüleceği gibi HCl'in konjuge bazı $Cl^-$ iyonudur. $Cl^-$ iyonu, kuvvetli asidin zayıf bir konjuge bazıdır. Bu nedenle $H_3O^+$ iyonundan proton alamaz. Dolayısıyla tepkime geri yönde ilerleyemez. Diğer bir ifadeyle tepkime tersinmezdir.

HCl'in suda iyonlaşmasından başka, suyun oto-iyonizasyon denge tepkimesi de gerçekleşir. Suyun iyonlaşması tepkimesinde, çözeltideki $H_3O^+$ iyonu ortamdaki $OH^-$ iyonuna proton verir ve tepkime geri yönde ilerleyerek tekrar $H_2O$ oluşur. Dolayısıyla $H_2O$'yun oto-iyonizasyon denge tepkimesi hem ileri hem de geri yönlüdür. Yani tersinir bir tepkimedir.


$$H_2O(s) + H_2O(s) \rightleftharpoons H_3O^+(suda) + OH^-(suda)$$

Kuvvetli monoprotik asitlerin sulu çözeltilerinde bulunan $H_3O^+$ iyonu hem kuvvetli asidin iyonlaşma tepkimesinden hem de suyun kendi iyonlaşma tepkimesinden oluşur. Suyun iyonlaşması ancak sınırlı bir değere kadar olabildiğinden, kuvvetli asitlerin çözeltilerindeki $H_3O^+$ iyonunun hemen hemen tamamının asitten geldiği kabul edilir. Dolayısıyla kuvvetli monoprotik asitlerin derişimi ($C_A$) $H_3O^+$ iyonları derişimine eşittir ($C_A = [H_3O^+]$). Bu durumda, suyun oto-iyonizasyonundan gelen $H_3O^+$ iyonu derişimi ihmal edilebilir ve pH hesaplamalarında dikkate alınmaz.

**Bilgi Notu**

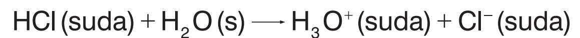
*Çözündüğünde molekülü başına tek proton verebilen asitlere* ***monoprotik asitler*** *denir. HCl, HBr, HI, $HNO_3$ ve $HClO_4$ gibi asitler kuvvetli monoprotik asitler, $CH_3COOH$, HF ve HCN gibi asitler ise zayıf monoprotik asitlerdir.*

**Örnek 20**

**0,1 M HCl çözeltisinin pH değerini hesaplayınız.**

**Çözüm 20**

HCl, kuvvetli bir asit olduğundan pratikte hemen hemen tamamının iyonlaştığı, $H_3O^+$ iyonu derişiminin asitten geldiği kabul edilerek sudan gelen $H_3O^+$ iyonu derişimi ihmal edilebilir.


$$HCl(suda) + H_2O(s) \longrightarrow H_3O^+(suda) + Cl^-(suda)$$

| | HCl | $H_3O^+$ | $Cl^-$ |
|---|---|---|---|
| Başlangıç: | 0,1 | – | – |
| Değişim : | –0,1 | +0,1 | +0,1 |
| Denge : | – | +0,1 | +0,1 |

**Hatırlatma**

*Kuvvetli asitler suda çözündüklerinde tamamen iyonlaşabildiklerinden tepkime yalnızca ileri yönlüdür.*

Buna göre $[H_3O^+] = 0,1\ M = 1 \cdot 10^{-1}$ eşitliği yazılabilir. O hâlde;

$pH = -\log [H_3O^+]$

$pH = -\log (1 \cdot 10^{-1})$

pH = 1'dir.

Kuvvetli monoprotik bazların sulu çözeltilerinde bulunan $OH^-$ iyonu hem kuvvetli bazların iyonlaşma tepkimesinden hem de suyun kendi iyonlaşma tepkimesinden oluşur. Suyun iyonlaşması ancak sınırlı bir değere kadar olabildiğinden kuvvetli bazların çözeltilerindeki $OH^-$ iyonunun hemen hemen tamamının bazdan geldiği kabul edilir. Dolayısıyla kuvvetli monoprotik bazların derişimi ($C_B$) $OH^-$ iyonları derişimine eşittir ($C_B = [OH^-]$). Bu durumda, suyun oto-iyonizasyonundan gelen $OH^-$ iyonu derişimi ihmal edilebilir ve pH hesaplamalarında dikkate alınmaz.

## Örnek 21

**0,01 M NaOH çözeltisinin pH değerini hesaplayınız.**

## Çözüm 21

NaOH kuvvetli bir baz olduğundan pratikte tamamen $Na^+$ ve $OH^-$ iyonlarına ayrıştığı kabul edilerek sudan gelen $OH^-$ iyonu derişimi ihmal edilebilir.

| | NaOH (suda) ⟶ | $Na^+$ (suda) + | $OH^-$ (suda) |
|---|---|---|---|
| Başlangıç: | 0,01 | – | – |
| Değişim : | –0,01 | +0,01 | +0,01 |
| Denge : | – | +0,01 | +0,01 |

Buna göre $[OH^-] = 0,01\ M = 1,0 \cdot 10^{-2}\ M$ eşitliği yazılabilir. O hâlde;

$pOH = -\log[OH^-]$

$pH = -\log (1,0 \cdot 10^{-2})$

pOH = 2'dir.

$pH + pOH = 14$

$pH + 2 = 14$

$pH = 12$

## Uyarı



*pH hesaplamalarında yaygın bir hata, pOH değeri hesaplandığında pH değerinin bulunduğunun zannedilmesidir. Örnek 21'de olduğu gibi bazik bir çözeltinin pH değeri 2 olamaz. Çünkü bazik çözeltilerde pH > 7'dir. Bu tür hesaplamalarda basit hatalardan kaçınınız.*

## Alıştırma 10

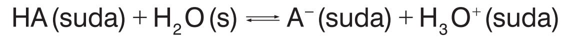
**Aşağıdaki çözeltilerin pH değerlerini hesaplayınız.**

**a) 0,1 M $HNO_3$** **b) 0,01 M KOH**

## 6.3.8 ZAYIF ASİT VE BAZ ÇÖZELTİLERİNDE pH HESAPLAMALARI

Zayıf monoprotik asit ve bazlar sulu çözeltilerinde kısmen iyonlaşır. Bu nedenle kuvvetli monoprotik asit ve bazların aksine, çözeltilerinde zayıf asitler çok az derişimde $H_3O^+$ iyonu, zayıf bazlar da çok az derişimde $OH^-$ iyonu bulundurur. Dolayısıyla zayıf asitlerin sulu çözeltilerinde suyun oto-iyonizasyonundan gelen $H_3O^+$ iyonu derişimi ve zayıf bazların sulu çözeltilerinde suyun oto-iyonizasyonundan gelen $OH^-$ iyonu derişimi ihmal edilemez ve pH hesaplamalarında dikkate alınır.

Başlangıç derişimi "$C_A$" olan zayıf bir HA asidinin suda iyonlaşma tepkimesini ele alarak çözeltideki $H_3O^+$ iyonları derişiminin nelere bağlı olduğunu irdeleyelim.



$$HA(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons A^-(suda) + H_3O^+(suda)$$

| | HA | | $A^-$ | $H_3O^+$ |
|---|---|---|---|---|
| Başlangıç: | $C_A$ | | – | – |
| Değişim : | $-x$ | | $+x$ | $+x$ |
| Denge : | $C_A - x$ | | $x$ | $x$ |

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{(x)(x)}{C_A - x}$$

Zayıf asidin iyonlaşan "x" M'lık derişimi, başlangıç derişimi "$C_A$" yanında ihmal edilerek $C_A - x \approx C_A$ eşitliği kabul edilebilir. Bu durumda;

$$x^2 = K_a \cdot C_A \Rightarrow x = (K_a \cdot C_A)^{1/2} \Rightarrow x = \sqrt{K_a \cdot C_A}$$

$$[H_3O^+] = \sqrt{K_a \cdot C_A}$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik, zayıf asit çözeltilerinin pH değerlerinin hesaplanmasında kullanılabilir.

Başlangıç derişimi "$C_B$" olan zayıf bir bazın bazlık sabiti "$K_b$" şeklinde gösterilir. Zayıf asidin pH değerinin hesaplanmasındaki ihmaller benzer şekilde burada da kabul edilirse $OH^-$ iyonları derişimi aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$[OH^-] = \sqrt{K_b \cdot C_B}$$

Bu eşitlik, zayıf baz çözeltilerinin pH değerlerinin hesaplanmasında kullanılabilir.

## Örnek 22

**0,01 M'lık HF çözeltisinin pH değerini hesaplayınız**
*(25 °C'ta HF için $K_a = 6,6 \cdot 10^{-4}$, $\log(2,5) = 0,4$).*

## Çözüm 22

Zayıf asitler için türetilen eşitlik kullanılarak $H_3O^+$ iyonu derişimi ve pH değeri şöyle hesaplanır:

$$[H_3O^+] = \sqrt{K_a \cdot C_A}$$

$$[H_3O^+] = \sqrt{6,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,01}$$

$$[H_3O^+] = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

$$pH = -\log(2,5 \cdot 10^{-3})$$

$$pH = -\log 2,5 + (-\log 10^{-3})$$

$$pH = -0,4 + 3 = 2,6$$

## Örnek 23

**0,1 M'lık $NH_3$ çözeltisinin pH değerini hesaplayınız** *(25 °C'ta $NH_3$ için $K_b = 1,8 \cdot 10^{-5}$, $\log(1,3) = 0,1$).*

## Çözüm 23

Zayıf bazlar için türetilen eşitlik kullanılarak $OH^-$ iyonu derişimi ve pH değeri şöyle hesaplanır:

$$[OH^-] = \sqrt{K_b \cdot C_B}$$

$$[OH^-] = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1}$$

$$[OH^-] = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$pOH = -\log[OH^-]$$

$$pOH = -\log(1,3 \cdot 10^{-3}) \qquad pH + pOH = 14$$

$$pOH = -\log 1,3 + (-\log 10^{-3}) \qquad pH + 2,9 = 14$$

$$pOH = -0,1 + 3 = 2,9 \qquad pH = 11,1$$

## Alıştırma 11

**a) 0,01 M HClO çözeltisinin pH değerini hesaplayınız**

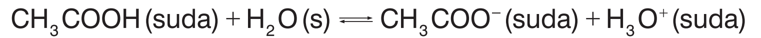
*(25 °C'ta HClO için $K_a = 3,0 \cdot 10^{-8}$, $\log(1,7) = 0,2$).*

**b) 0,1 M'lık $CH_3NH_2$ çözeltisinin pH değerini hesaplayınız**

*(25 °C'ta $CH_3NH_2$ için $K_b = 4,4 \cdot 10^{-4}$, $\log(6,6) = 0,8$).*

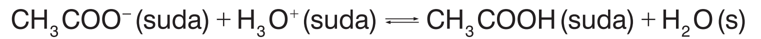
### 6.3.9 TAMPON ÇÖZELTİLER

Birçok kimyasal ve biyolojik olayda pH değerinin sabit tutulması gerekir. Bazen laboratuvar ortamında, belirli bir pH değerinde hazırlanan çözeltinin saklanması istenir. pH değerinin yaklaşık sabit kalabileceği bir çözelti, konjuge asit-baz çifti asidinin ve bazının eşit derişimlerdeki çözeltilerinin karıştırılması ile sağlanabilir. Eşit derişimlerde $CH_3COOH$ ve $CH_3COONa$ çözeltilerini ele alalım. Bu iki çözelti karıştırıldığında, yeni çözeltideki maddeler aşağıdaki gibi dinamik dengede bulunur:



$$CH_3COOH(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons CH_3COO^-(suda) + H_3O^+(suda)$$

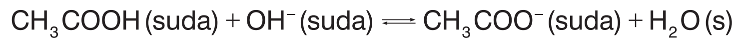
Dengedeki bu çözelti karışımına HCl gibi kuvvetli bir asit çözeltisi birkaç damla eklendiğinde, HCl çözeltisinden gelen $H_3O^+$ iyonu bir protonunu, dengedeki konjuge baz $CH_3COO^-$ iyonuna verir. Bu durumda, dengedeki tepkime geri yönde ilerler ve $CH_3COOH$ ve $H_2O$ molekülleri oluşur.



$$CH_3COO^-(suda) + H_3O^+(suda) \rightleftharpoons CH_3COOH(suda) + H_2O(s)$$

Dengede $CH_3COOH$ derişimi biraz artarken $CH_3COO^-$ iyonu derişimi biraz azalır. Bu nedenle $[CH_3COO^-] / [CH_3COOH]$ oranı 1'den çok az küçük olur. HCl eklendiğinde oluşan $H_3O^+$ iyonları, $CH_3COO^-$ iyonları tarafında çözelti ortamından uzaklaştırıldığı için çözeltideki $H_3O^+$ iyonu derişimi hemen hemen hiç değişmeden kalır. Dolayısıyla pH değeri de hemen hemen hiç değişmez.

Dengedeki çözelti karışımına NaOH gibi kuvvetli bir baz çözeltisi birkaç damla eklendiğinde ise bazdan gelen $OH^-$ iyonu dengedeki konjuge asit $CH_3COOH$ molekülünden bir proton alır. Bu durumda, dengedeki tepkime ileri yönde ilerler ve $CH_3COO^-$ iyonları ve $H_2O$ molekülleri oluşur.



$$CH_3COOH(suda) + OH^-(suda) \rightleftharpoons CH_3COO^-(suda) + H_2O(s)$$

Dengedeki $CH_3COOH$ derişimi biraz azalırken $CH_3COO^-$ iyonu derişim biraz artar. Bu nedenle $[CH_3COO^-] / [CH_3COOH]$ oranı 1'den çok az büyük olur. NaOH eklendiğinde oluşan $OH^-$ iyonları $CH_3COOH$ molekülleri tarafından çözelti ortamından uzaklaştırılır. Çözeltide $OH^-$ iyonları derişimi, dolayısıyla de $H_3O^+$ iyonları derişimi hemen hemen hiç değişmeden kalır. Bu nedenle pH değeri de hemen hemen hiç değişmez.

Sonuç olarak konjuge asit-baz çiftlerini içeren dengedeki bir çözeltiye kuvvetli asit ya da baz eklendiğinde, pH değeri hemen hemen değişmeyecek şekilde denge ileri veya geri yönde ilerleyerek

**Biliyor musunuz?**



*Kuvvetli bir asidin bir damlası saf suya eklendiğinde pH önemli ölçüde değişir. Ancak birkaç damla asit, konjuge asit-baz çiftini içeren bir çözeltiye eklendiğinde pH çok az değişir.*

bu etkiyi azaltır. Belirli miktarlara kadar asit veya baz eklendiğinde, çözeltinin pH değerinin değişmesini engeller yönde tepkime verebilen çözeltilere **tampon çözelti** denir.

Tampon çözeltiler genellikle;

- Zayıf asit ve onun konjuge bazından (tuzundan) (Örneğin $CH_3COOH$ / $CH_3COO^-$),
- Zayıf baz ve onun konjuge asidinden (tuzundan) (Örneğin $NH_3$ / $NH_4^+$) oluşur.

Canlı organizmalardaki kan, hücre sıvısı gibi biyolojik sıvılar bir çeşit tampon çözeltidir. Bu tür biyolojik sıvılar görevlerini yerine getirebilmeleri için ortamın pH değeri belirli olmalı ve pH değerindeki ani değişiklikler engellenmelidir. Örneğin normal bir insanda kanın pH değeri 7,35-7,45, mide öz suyunun pH değeri 1,0-2,0 gibi bir aralıkta tutulur (Resim 6.3.3).



*Resim 6.3.3:* Kanın pH değerini kontrol etmek için vücut başlıca karbonik asit / hidrojen karbonat iyonu ($H_2CO_3$ / $HCO_3^-$) tampon sistemini kullanır. Yaralı hastalara damar içinden tuz çözeltisi verilerek bozulan $H_2CO_3$ / $HCO_3^-$ oranının normale dönmesi sağlanır. Böylece yaralı kişinin hayatta kalmasına yardımcı olunur.

Protein moleküllerinin büyüklükleri ile taşıdıkları yüklerin türleri ve miktarı ortamın pH değerine bağlıdır. Bu nedenle proteinlerle ilgili yapılan laboratuvar çalışmaları tampon çözelti ortamlarında yapılır. Birer protein olan enzimler, biyokimyasal tepkimelerde katalizör görevini görür. Enzimlerin yapıları ve etkinlikleri tamamen pH değerine bağlıdır. Vücuttaki birçok enzim, pH değeri 6,2-8,0 aralığında en yüksek düzeyde etkinlik gösterir. Dolayısıyla laboratuvar çalışmalarında çözelti ortamının pH değeri bu aralığa ayarlanır.

## 6.3.9 TUZ ÇÖZELTİLERİNİN ASİTLİK VE BAZLIK ÖZELLİKLERİ

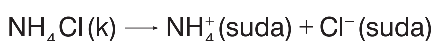
Tuzlar hem katyon hem de anyon içerdiklerinden suda çözündüklerinde katyon ve anyonlarına ayrışır. Ayrışan katyon ve anyonlar su ile tepkime verebilir. Katyon ve anyonların su ile verdiği tepkimelere **hidroliz tepkimesi** denir. Tuzlar suda çözündüklerinde üç tür çözelti oluşturabilir. Bunlar asidik, bazik ve nötr tuz çözeltileridir.

### Asidik Tuz Çözeltileri

Kuvvetli bir asit ile zayıf bir bazın oluşturduğu tuz suda çözündüğünde asidik çözelti oluşur. Örneğin HCl gibi kuvvetli bir asit ile $NH_3$ gibi zayıf bir bazdan $NH_4Cl$ tuzu oluşur (Resim 6.3.4). Oluşan $NH_4Cl$ tuzu suda çözündüğünde aşağıdaki gibi iyonlarına ayrışır:



*Resim 6.3.4:* $NH_4Cl$, kokusuz, beyaz renkli kristal yapıda bir tuzdur. $NH_4Cl$, başta ilaç, gıda, petrol, tekstil ve deri endüstrisi olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır.



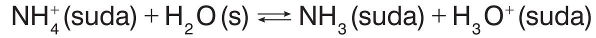
$$NH_4Cl(k) \longrightarrow NH_4^+(suda) + Cl^-(suda)$$



**Hatırlatma**

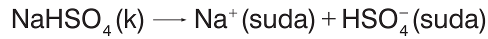
***Hidroliz tepkimesi**nin ancak bir zayıf asit ya da bir zayıf baz oluşturan tepkimelerde mümkün olduğunu unutmayınız.*

$Cl^-$ iyonu, kuvvetli bir asit olan HCl'in anyonudur ve $H_2O$ ile tepkime vermez. $NH_3$'ın konjuge asidi olan $NH_4^+$ iyonu $H_2O$ ile tepkimeye girerek bir proton verir ve asit gibi davranır. Bu denge tepkimesi aşağıdaki gibidir:



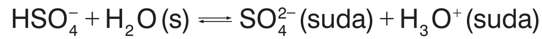
$$NH_4^+(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NH_3(suda) + H_3O^+(suda)$$

Şimdi de nötral sodyum hidrojen sülfat ($NaHSO_4$) tuzunun suda çözünmesini ele alalım. $NaHSO_4$ tuzu suda çözündüğünde iyonlaşma tepkimesi şöyledir:



$$NaHSO_4(k) \longrightarrow Na^+(suda) + HSO_4^-(suda)$$

$Na^+$ iyonu su ile tepkime vermez. Ayrıca asidik veya bazik özelliğe de sahip değildir. Ancak $HSO_4^-$ iyonu sulu çözeltide baz olarak davranan $H_2O$'ya bir proton verir. Tepkimede asit olarak davranan $HSO_4^-$ iyonunun konjuge bir bazı olan $SO_4^{2-}$ iyonu oluşur. Bu denge tepkimesi de şöyle gerçekleşir:

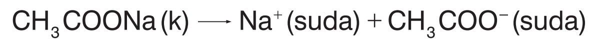


$$HSO_4^- + H_2O(s) \rightleftharpoons SO_4^{2-}(suda) + H_3O^+(suda)$$

Katyonu $NH_4^+$ ve anyonu $HSO_4^-$ olan tuzların çözeltileri denge tepkimelerinden de anlaşılacağı gibi asit özelliği gösterir. Suda çözündüklerinde asit gibi davranan (proton veren) tuzlara **asidik tuz** denir. Asit olarak davranan katyonların tuzları suda çözündüğünde suya proton vererek çözeltide $H_3O^+$ iyonunu oluşturur.

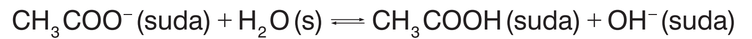
### Bazik Tuz Çözeltileri

Kuvvetli bir baz ile zayıf bir asidin oluşturduğu tuz suda çözündüğünde bazik çözelti oluşur. Örneğin NaOH gibi kuvvetli bir baz ile $CH_3COOH$ gibi zayıf bir asitten oluşan $CH_3COONa$ tuzu suda çözündüğünde aşağıdaki gibi iyonlarına ayrışır:



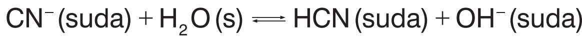
$$CH_3COONa(k) \longrightarrow Na^+(suda) + CH_3COO^-(suda)$$

$Na^+$ iyonu kuvvetli bir baz olan NaOH'in katyonudur ve $H_2O$ ile tepkime vermez. $CH_3COOH$'in konjuge bazı olan $CH_3COO^-$ iyonu $H_2O$ ile tepkimeye girerek bir proton alır ve baz olarak davranır. Bu denge tepkimesi aşağıdaki gibidir:



$$CH_3COO^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons CH_3COOH(suda) + OH^-(suda)$$

NaCN tuzu da suda çözündüğünde iyonlaşarak $Na^+$ ve $CN^-$ iyonlarını oluşturur. $Na^+$ iyonu $H_2O$ ile tepkime vermez. $CN^-$ iyonu, zayıf asit olan HCN'in konjuge bazıdır ve $H_2O$ ile tepkimeye girerek proton alır.


$CN^-(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons HCN(suda) + OH^-(suda)$

Anyonu $CH_3COO^-$ ve $CN^-$ olan tuzların çözeltileri denge tepkimelerinden de anlaşılacağı gibi baz özelliği gösterir. Suda çözündüklerinde baz gibi davranan (proton alan) tuzlara **bazik tuz** denir. Baz olarak davranan anyonların tuzları suda çözündüğünde sudan proton alarak çözeltide $OH^-$ iyonunu oluşturur.

### Nötr Tuz Çözeltileri

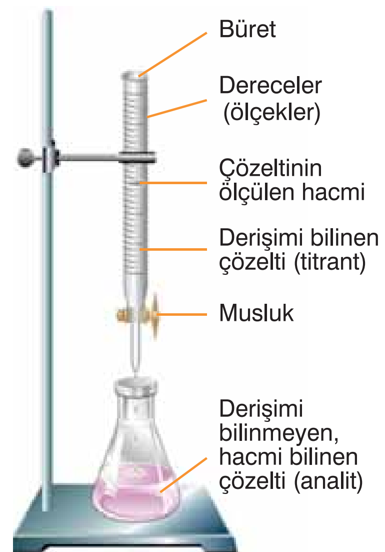
Kuvvetli bir asit ile kuvvetli bir bazın oluşturduğu tuz suda çözündüğünde nötr tuz çözeltisi oluşur. Örneğin kuvvetli asit HCl ile kuvvetli baz NaOH'in tepkimesinden oluşan NaCl tuzunu ele alalım. NaCl katı hâlde iyonik yapıdadır ve $H_2O$ ile tepkimesinde aşağıdaki gibi $Na^+$ ve $Cl^-$ iyonlarına ayrışır:


$NaCl(k) \longrightarrow Na^+(suda) + Cl^-(suda)$

Tuzun katyonu ($Na^+$) ve anyonu ($Cl^-$) asidik ve bazik tuzların aksine $H_2O$ ile hidroliz tepkimesi vermez. Bu nedenle kuvvetli asit ve bazların çözeltileri nötrdür. Asit ya da baz gibi davranmayan tuzlara **nötr tuz** denir. Nötr tuzların hiçbir iyonu sulu çözeltide $H_3O^+$ veya $OH^-$ iyonu oluşturmaz.

## 6.3.11 TİTRASYON

Nötralleşme tepkimeleri bir asit ile bir bazın etkileşimi sonucunda tuz ve suyun oluştuğu tepkimelerdir. Asit ve baz arasında nötralleşme tepkimelerine dayanan nicel tayinler titrasyon olarak bilinen yöntemle tayin edilir. Derişimi bilinen asit ya da baz çözeltisinin (titrant veya standart çözelti), derişimi bilinmeyen asit ya da baz çözeltisine (analit) nötralleşme tepkimesi tamamlanıncaya kadar yavaş yavaş dikkatlice eklendiği ve titrant hacminin ölçüldüğü nicel işleme **titrasyon** denir (Şekil 6.3.5).

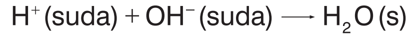



***Şekil 6.3.5:*** Titrasyon işlemi

Titrasyonda derişimi bilinen titrant çözeltinin ve derişimi bilinmeyen analit çözeltinin hacimleri biliniyorsa bilinmeyen çözeltinin derişimi $M = n / V$ eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitlik hatırlanacağı gibi kimyada en çok kullanılan çözelti derişimi birimlerinden biri olan molaritenin hesaplanmasında kullanılan eşitliktir.

Derişimi bilinen kuvvetli bir baz çözeltisinin derişimi bilinmeyen kuvvetli bir asit çözeltisiyle titrasyonunu ele alalım. Baz çözeltisinin asit çözeltisine azar azar eklenmesiyle nötralleşme tepkimesi sonucu çözeltinin pH değeri değişir. Eklenen bazın

hacmine karşılık pH değerindeki değişime bağlı olarak bir titrasyon eğrisi elde edilir. Titrasyon eğrisi tipik olarak "∫" şeklindedir. Kuvvetli asit ile kuvvetli bazın titrasyonunda, asitten gelen $H^+$ iyonu ve bazdan gelen $OH^-$ iyonunun eş değer miktarlarda tepkimesi sonucunda her iki iyon da tamamen harcanır. Tepkimenin net iyon denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:



$$H^+(suda) + OH^-(suda) \longrightarrow H_2O(s)$$

Tepkimeye giren hem asidin hem de bazın stokiyometrik olarak birbirine eş değer olduğu noktaya **eş değerlik noktası** denir. Titrasyonun başlangıcında pH değeri kuvvetli baz eklenmeden önce titre edilen kuvvetli asidin pH değeridir. Eş değerlik noktasından önce kuvvetli baz eklendiğinde çözelti ortamında kalan kuvvetli asit pH değerini belirler. Eş değerlik noktasındaki çözelti, kuvvetli asit ve kuvvetli bazın hidroliz olmayan tuzunu içerdiğinden nötrdür. Eş değerlik noktasında asit ve bazın tamamı harcandığından çözeltinin pH değerini, suyun oto-iyonizasyonundan gelen iyonlar belirler. Hatırlanacağı gibi suyun oto-iyonizasyonundan gelen iyonların derişimleri;

$[H_3O^+] = [OH^-] = 1 \cdot 10^{-7}$ dir.

Dolayısıyla kuvvetli asidin ve kuvvetli bazın stokiyometrik olarak eş değer miktarlarda harcanması ile gerçekleşen nötralleşme tepkimesinde çözeltinin pH değeri 7'dir. Eş değerlik noktasından sonra çözeltide kuvvetli asit kalmaz. Çözeltiye eklenen kuvvetli bazın aşırısı pH değerini belirler.

Eş değerlik noktası, titrasyona başlamadan önce çözeltiye bir kaç damla eklenen indikatörün keskin renk değişiminden anlaşılır. İndikatör renk değiştirdiğinde titrasyon sonlandırılır. İndikatörün renk değiştirdiği ve titrasyonun sonlandırıldığı nokta **dönüm noktası** olarak adlandırılır. İdeal olarak eş değerlik noktası ile dönüm noktası çakışmalıdır. Asit üzerine baz ya da baz üzerine asit eklenerek yapılan titrasyonlarda, indikatör olarak fenolftalein sıkça kullanılır. Fenolftalein indikatörü asidik çözeltide renksiz, bazik çözeltide pembedir.

Titrasyon da tıpkı diğer deneyler gibi laboratuvarda yapılacak deneylerdendir. Deneyler sona erdiğinde kimyasal maddeler alındığı yerlere konulmalı, cam malzemeler ve lavabolar temizlenmeli, su vanaları kapatılmalıdır. Bu konuda bireyler üzerine düşen görevleri yerine getirirken gerektiği durumlarda da birbirlerine yardımcı olmalıdırlar.

Şimdi, 1. etkinliği yaparak titrasyonda derişimi bilinmeyen çözeltinin derişiminin nasıl hesaplanacağını kavramaya çalışalım.

## Hatırlatma



*Asitler ve bazlarla etkileşerek renk değiştiren maddelere* ***indikatör*** *(belirteç) denir. İndikatörler, renkli maddelerin genellikle su, etil alkol veya başka bir çözücüde çözünmesiyle elde edilen çözeltilerin süzgeç kâğıdına emdirilip kurutulması ile hazırlanır.*

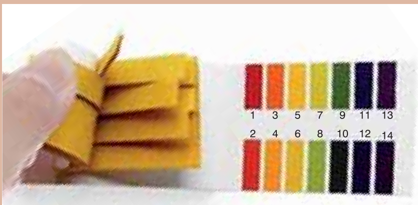
*Bir çözeltinin asitliğinin ya da bazlığının nitel olarak belirlenmesinde genellikle turnusol kâğıdı, nicel olarak belirlenmesinde genellikle pH kâğıdı kullanılır.*



Mavi turnusol kâğıdı



Kırmızı turnusol kâğıdı

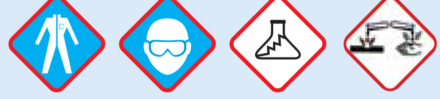



pH kâğıdı

# 1. ETKİNLİK KUVVETLİ ASİT VE KUVVETLİ BAZ TEPKİMELERİ

**Etkinliğin Amacı:**

Derişimi bilinen kuvvetli bir baz çözeltisi kullanarak derişimi bilinmeyen kuvvetli bir asit çözeltisinin derişimini hesaplamak.



**Araç Gereçler:**

Erlenmayer (250 mL), büret (100 mL), dereceli silindir (50 mL), HCl çözeltisi, 0,1 M NaOH çözeltisi, fenolftalein çözeltisi, bunzen mesnedi, bunzen kıskacı, bağlama parçası, damlalık

**Etkinliğin Yapılışı:**

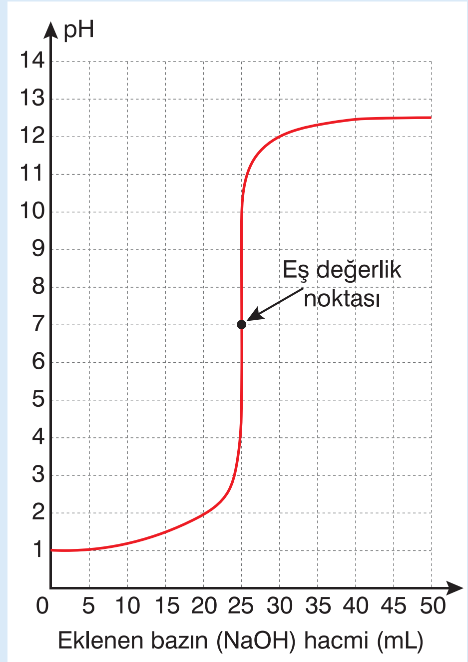
- Erlenmayere derişimi bilinmeyen 25 mL HCl çözeltisi koyup üzerine 3 damla fenolftalein çözeltisi damlatınız.
- Derişimi bilinen NaOH çözeltisini sıfır ölçeğine kadar bürete doldurunuz.
- Resim 6.3.5'teki gibi bir elinizle büretin musluğunu tutup açarak NaOH çözeltisini damla damla erlenmayerdeki HCl çözeltisine ekleyiniz. Diğer elinizle de erlenmayeri hafifçe çalkalayarak çözeltilerin karışmasını sağlayınız. Çözelti karışımının belirli bir anında, kısmen nötralleşme sonucu NaOH çözeltisinin HCl çözeltisine karıştığı yer pembe görünür. Ancak çözelti karışımı çalkalandığında bu renk hemen kaybolur. Renk kalıcı oluncaya kadar damla damla NaOH çözeltisini eklemeye devam ediniz.
- Çözelti karışımının pembeliği kalıcı olduğu anda büretin musluğunu kapatınız. Harcanan NaOH çözeltisinin hacmini büretteki çözelti seviyesinden okuyup kaydediniz.



*Resim 6.3.5:* Titrasyon deneyi

**Etkinlik Sonu Soruları:**

1. Analit olarak kullanılan HCl çözeltisinin mol sayısını hesaplayınız.
2. Nötralleşme tepkimesini yazınız. Tepkimenin stokiyometrik katsayılarını dikkate alarak titrat olarak harcanan NaOH çözeltisinin mol sayını hesaplayınız.
3. Hacmi ve mol sayısı bilinen NaOH çözeltisinin derişimini hesaplayınız.
4. Titrasyonda gözlenen renk değişimi neyi ifade eder? Açıklayınız.
5. Grafik 6.3.1'deki kuvvetli asit ile kuvvetli bazın titrasyon eğrisinden eklenen bazın (NaOH) hacmine bağlı olarak pH değerindeki değişimi yorumlayınız.




*Grafik 6.3.1:* Titrasyon eğrisi




***Grafik 6.3.2:*** Kuvvetli baz çözeltisinin kuvvetli asit çözeltisiyle titrasyonuna ait eğri

Kuvvetli asit ve kuvvetli baz titrasyonunda, derişimi bilinen kuvvetli bir asit çözeltisi derişimi bilinmeyen bir baz çözeltisine azar azar eklenerek titre edildiğinde Grafik 6.3.2'deki titrasyon eğrisi elde edilir. Bu eğri, bir kuvvetli bazın bir kuvvetli asit üzerine eklendiğinde elde edilen eğrinin tersidir yani ayna görüntüsüdür.

Endüstriyel faaliyetlerin birçoğu asidik ve bazik ortamda gerçekleşir. Bunun sonucunda asidik ve bazik atıklar oluşur. Asidik ve bazik atıklar son derecede tehlikelidir. Bu tür atıklar deniz, göl ve akarsu gibi ortamlara verildiğinde başta balıklar olmak üzere diğer canlı türlerine zarar verir. Bu nedenle endüstriyel faaliyetlerde bulunan kişilerin çevreye duyarlı bir vatandaş olarak asidik ve bazik atıkları zararsız hâle dönüştürmeleri bir vatandaşlık görevidir. Bu amaçla asidik ve bazik atıkların çevreye verilmeden önce zararsız hâle getirmek için nötralleştirilmesi gerekir. Nötralleştirme işlemlerinde asidik atıklara kuvvetli veya zayıf baz, bazik atıklara ise kuvvetli veya zayıf asit eklenir.

## Örnek 24

**0,1 M'lık 25 mL HCl çözeltisinin NaOH çözeltisi ile titrasyonunda, eş değerlik noktası için gerekli olan NaOH çözeltisinin hacmi 50 mL'dir. Buna göre NaOH çözeltisinin derişimini hesaplayınız.**

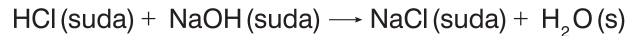
## Hatırlatma



*Molarite (M), 1 L çözeltide çözünen maddenin mol sayısıdır.*

## Çözüm 24

Öncelikle asit-baz tepkimesi için denkleştirilmiş tepkime denklemini yazalım, sonra da tepkimede kullanılan HCl çözeltisinin mol sayısını hesaplayalım.



$$\text{HCl (suda)} + \text{NaOH (suda)} \longrightarrow \text{NaCl (suda)} + \text{H}_2\text{O (s)}$$

$$25\ \text{mL} = 0,025\ \text{L}$$

$$M = \frac{n}{V} \Rightarrow n = M \cdot V = 0,1 \cdot 0,025 = 2,5 \cdot 10^{-3}\ \text{mol HCl}$$

Tepkimede, HCl ve NaOH'in stokiyometrik katsayıları eşit olduğundan titrasyonda HCl'in 1 molü, NaOH'in 1 molü ile tepkimeye girer. Dolayısıyla tepkime oranı 1 : 1 şeklinde olur. Buna göre mol sayısı ve hacmi bilinen NaOH'in derişimini hesaplayalım.

$$50\ \text{mL} = 0,050\ \text{L}$$

$$M = \frac{n}{V} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{0,050} = 0,05\ \text{M NaOH}$$

**Örnek 25**

**0,01 M'lık 30 mL $Ca(OH)_2$ çözeltisinin HCl çözeltisi ile titrasyonunda, eş değerlik noktası için gerekli olan HCl'in hacmi 20 mL'dir. Buna göre HCl çözeltisinin derişimini hesaplayınız.**

**Çözüm 25**

Öncelikle asit-baz tepkimesi için denkleştirilmiş tepkime denklemini yazalım, sonra da tepkimede kullanılan $Ca(OH)_2$ çözeltisinin mol sayısını hesaplayalım.



$$Ca(OH)_2\,(suda) + 2HCl\,(suda) \longrightarrow CaCl_2\,(suda) + 2H_2O\,(s)$$

$$30\,mL = 0{,}03\,L$$

$$M = \frac{n}{V} \Rightarrow n = M \cdot V = 0{,}01 \cdot 0{,}03 = 3 \cdot 10^{-4}\,mol\ \ Ca(OH)_2$$

Tepkimede $Ca(OH)_2$ ve HCl'in stokiyometrik katsayıları eşit değildir. Tepkimede $Ca(OH)_2$'in 1 molü, HCl'in 2 molü ile tepkimeye girer. Tepkime oranı 1 : 2 şeklindedir. Buna göre harcanan HCl'in mol sayısını ve molaritesini hesaplayalım.

| | |
|---|---|
| 1 mol $Ca(OH)_2$ | 2 mol HCl ile tepkimeye girerse |
| $3{,}0 \cdot 10^{-4}$ mol $Ca(OH)_2$ | x |

$$x = 3{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 6{,}0 \cdot 10^{-4}\ \ mol$$

$$20\,mL = 0{,}02\,L$$

$$M = \frac{n}{V} = \frac{6{,}0 \cdot 10^{-4}}{0{,}02} = 0{,}03\,M\,HCl$$

**Uyarı**



*Tüm tepkimelerdeki stokiyometrik hesaplamalarda olduğu gibi denkleştirilmiş nötralleşme tepkime denklemindeki stokiyometrik katsayılara dikkat edilmelidir.*




Titrasyon yöntemine yönelik hesaplamalar **sayfa 276'daki** gibi elektronik tablolama programı yardımıyla kurgulanmalı, değerler değiştirilerek gerçekleşen değişiklikler gözlemlenmeli ve yorumlanmalıdır.

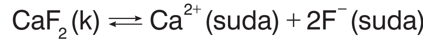
**Alıştırma 12**

**0,02 M'lık 40 mL $H_2SO_4$ çözeltisinin KOH çözeltisi ile titrasyonunda, eş değerlik noktası için gerekli olan KOH'in hacmi 20 mL'dir. Buna göre KOH çözeltisinin derişimini hesaplayınız.**

## 6.3.12 ÇÖZÜNME-ÇÖKELME DENGELERİ

Çözünme-çökelme tepkimeleri günlük hayatta geniş bir öneme sahiptir. Örneğin atık su arıtımında, kemik ve dişlerin oluşmasında ve aşınmasında, doğal maden kaynaklarından olan fosfat kayalarının oluşmasında, mağaralarda sarkıt ve dikitlerin oluşmasında sıcak su borularında ve kazanlarda beyaz tortunun oluşmasında; çözünme-çökelme tepkimeleri gerçekleşir.

Birçok tuz suda çok fazla çözünmesine rağmen, birçoğu da oldukça az çözünür. Örneğin 25 °C'ta 1 L suya az çözünen $CaF_2$ katısı ekleyip çözeltinin doymuş hâle gelinceye kadar karıştırıldığını varsayalım. $CaF_2$'ün çok az bir kısmı suda çözünerek $Ca^{2+}$ ve $F^-$ iyonlarına ayrışırken büyük bir kısmı da çözünmeden katı olarak kalır. $CaF_2$ katısı ve çözeltideki $Ca^{2+}$ ve $F^-$ iyonları arasındaki çözünürlük denge tepkimesi şöyledir:



$$CaF_2(k) \rightleftharpoons Ca^{2+}(suda) + 2F^-(suda)$$

Suda az çözünen tuzların doymuş çözeltileri için çözünürlük denge denklemi ifade edilir. Kimyasal denge konusundan hatırlanacağı gibi saf katıların derişimleri sabit olduğundan denge denklemlerinde yer almaz. Suda az çözünen bir tuzun çözeltisine ait çözünürlük denge denklemi yazılırken çözünürlük denge tepkimesindeki iyonların stokiyometrik katsayıları çözeltideki iyonların derişimlerine üstel kuvvet olarak yazılır. Buna göre $CaF_2$ çözeltisinin çözünürlük denge denklemi;

$$K_{çç} = [Ca^{2+}][F^-]^2$$

eşitliği ile ifade edilir. Suda az çözünen bir tuzun çözünmesini gösteren denge sabiti değerine **çözünürlük çarpımı** denir. Çözünürlük çarpımı "$K_{çç}$" ile gösterilir. Genel olarak bir tuzun çözünürlük çarpımı, çözünürlük denge denkleminde yer alan iyonların derişimlerine çözünürlük denge denklemindeki iyonların stokiyometrik katsayıları üstel kuvvet olarak yazıldıktan sonraki iyonların derişimlerinin çarpımıdır. Tablo 6.3.4'te 25 °C'taki bazı az çözünen tuzların "$K_{çç}$" değerleri verilmiştir. İnceleyiniz.

## Bilgi Notu



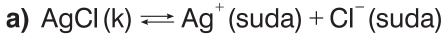
*Bazı kimya kaynaklarında çözünürlük çarpımı "$K_{çç}$", aynı zamanda "çözünürlük çarpımı sabiti" veya "çözünürlük sabiti" olarak da adlandırılır.*

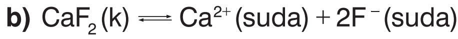
***Tablo 6.3.4:*** 25 °C'ta bazı az çözünen kuzların "$K_{çç}$" değerleri

| Bileşiğin adı | Bileşiğin formulü | $K_{çç}$ değeri | Bileşiğin adı | Bileşiğin formulu | $K_{çç}$ değeri |
|---|---|---|---|---|---|
| Baryum florür | $BaF_2$ | $1,7 \cdot 10^{-6}$ | Kalsiyum karbonat | $CaCO_3$ | $8,7 \cdot 10^{-9}$ |
| Baryum karbonat | $BaCO_3$ | $8,1 \cdot 10^{-9}$ | Kalsiyum florür | $CaF_2$ | $4,0 \cdot 10^{-11}$ |
| Baryum sülfat | $BaSO_4$ | $1,1 \cdot 10^{-10}$ | Kalsiyum hidroksit | $Ca(OH)_2$ | $5,5 \cdot 10^{-6}$ |
| Demir(II) hidroksit | $Fe(OH)_2$ | $1,6 \cdot 10^{-14}$ | Kalsiyum sülfat | $CaSO_4$ | $2,4 \cdot 10^{-5}$ |
| Demir(III) hidroksit | $Fe(OH)_3$ | $2,0 \cdot 10^{-36}$ | Kurşun(II) klorür | $PbCl_2$ | $1,6 \cdot 10^{-5}$ |
| Gümüş klorür | $AgCl$ | $1,6 \cdot 10^{-10}$ | Kurşun(II) bromür | $PbBr_2$ | $4,0 \cdot 10^{-5}$ |
| Gümüş bromür | $AgBr$ | $7,7 \cdot 10^{-13}$ | Kurşun(II) iyodür | $PbI_2$ | $1,4 \cdot 10^{-8}$ |
| Gümüş iyodür | $AgI$ | $8,3 \cdot 10^{-17}$ | Kurşun(II) kromat | $PbCrO_4$ | $2,0 \cdot 10^{-14}$ |
| Gümüş sülfat | $Ag_2SO_4$ | $1,4 \cdot 10^{-5}$ | Kurşun(II) sülfat | $PbSO_4$ | $1,8 \cdot 10^{-8}$ |
| Gümüş kromat | $Ag_2CrO_4$ | $2,4 \cdot 10^{-12}$ | Kurşun(II) hidroksit | $Pb(OH)_2$ | $2,8 \cdot 10^{-16}$ |

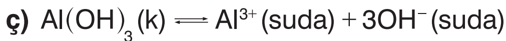
## Örnek 26

**Aşağıdaki çözünürlük denge denklemlerinin çözünürlük çarpımı ifadelerini yazınız.**


**a)** $AgCl(k) \rightleftharpoons Ag^{+}(suda) + Cl^{-}(suda)$


**b)** $CaF_2(k) \rightleftharpoons Ca^{2+}(suda) + 2F^{-}(suda)$

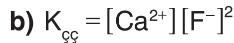

**c)** $Mg_3(PO_4)_2(k) \rightleftharpoons 3Mg^{2+}(suda) + 2PO_4^{3-}(suda)$

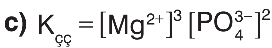

**ç)** $Al(OH)_3(k) \rightleftharpoons Al^{3+}(suda) + 3OH^{-}(suda)$

## Çözüm 26

Suda az çözünen bir tuzun çözünürlük çarpımı ifadesinde saf katılar yer almaz. Çözünürlük denge tepkimesindeki iyonların stokiyometrik katsayıları derişimlere üstel kuvvet olarak yazılır.


**a)** $K_{çç} = [Ag^{+}][Cl^{-}]$


**b)** $K_{çç} = [Ca^{2+}][F^{-}]^2$

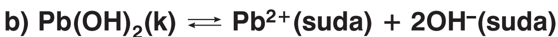

**c)** $K_{çç} = [Mg^{2+}]^3[PO_4^{3-}]^2$

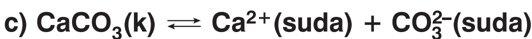

**ç)** $K_{çç} = [Al^{3+}][OH^{-}]^3$

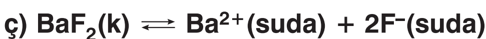
## Alıştırma 13

**Aşağıdaki çözünürlük denge denklemlerinin çözünürlük çarpımı ifadelerini yazınız.**


**a)** $Ag_2SO_4(k) \rightleftharpoons 2Ag^{+}(suda) + SO_4^{2-}(suda)$


**b)** $Pb(OH)_2(k) \rightleftharpoons Pb^{2+}(suda) + 2OH^{-}(suda)$


**c)** $CaCO_3(k) \rightleftharpoons Ca^{2+}(suda) + CO_3^{2-}(suda)$


**ç)** $BaF_2(k) \rightleftharpoons Ba^{2+}(suda) + 2F^{-}(suda)$

### Çözünürlük Çarpımı ile Çözünürlük Kavramı Arasındaki İlişki

Az çözünen tuzların çözünürlük çarpımını belirlemenin en basit yollarından biri, tuzun çözünürlüğünü (s) yani tuzun doymuş bir çözeltideki molar derişimini ölçmektir.

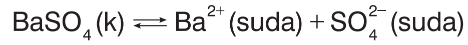
Bir tuzun çözünürlüğü biliniyorsa tuzun molar çözünürlüğü ve çözünürlük çarpımı hesaplanabilir. Tersine, tuzun çözünürlük çarpımı biliniyorsa tuzun molar çözünürlüğü ve tuzun çözünürlüğü hesaplanabilir.

## Örnek 27

**25 °C'ta doygun $BaSO_4$ çözeltisinin çözünürlük çarpımı "$K_{çç}$" değeri $1,1 \cdot 10^{-10}$ dur. Buna göre $BaSO_4$'ın çözünürlüğü kaç mol/L'dir?**

## Çözüm 27

Önce $BaSO_4$ katısının sulu çözeltisine ait denge tepkimesini yazalım. $Ba^{2+}$ ve $SO_4^{2-}$ iyonlarının derişimleri bilinmediğinden bu derişim değerlerini “x” ile gösterelim. Sonra da dengedeki iyon derişimlerini çözünürlük denge denkleminde yerlerine yazarak iyon derişimlerini hesaplayalım.



$$BaSO_4(k) \rightleftharpoons Ba^{2+}(suda) + SO_4^{2-}(suda)$$

| | $BaSO_4(k)$ | $Ba^{2+}(suda)$ | $SO_4^{2-}(suda)$ |
|---|---|---|---|
| Başlangıç : | | – | – |
| Değişim : | –x | +x | +x |
| Denge : | | x | x |

$$K_{çç} = [Ba^{2+}][SO_4^{2-}]$$

$$1,1 \cdot 10^{-10} = (x) \cdot (x)$$

$$x^2 = 1,1 \cdot 10^{-10}$$

$$x = 1,0 \cdot 10^{-5}$$

$$[Ba^{2+}] = [SO_4^{2-}] = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

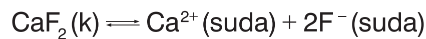
$BaSO_4$ katısı ve $Ba^{2+}$ iyonunun stokiyometrik katsayıları aynı olduğundan çözeltide bulunan $Ba^{2+}$ iyonu kadar $BaSO_4$ katısı çözünür. Bu nedenle $BaSO_4$'ın çözünürlüğü $1,0 \cdot 10^{-5}$ mol/L'dir.

## Örnek 28

**25 °C'ta doygun $CaF_2$ çözeltisinin çözünürlük çarpımı “$K_{çç}$” değeri $4,0 \cdot 10^{-11}$ dir. Buna göre $CaF_2$'ün çözünürlüğü kaç mol/L'dir?**

## Çözüm 28

Önce $CaF_2$ katısının sulu çözeltisine ait denge tepkimesini yazalım. $Ca^{2+}$ ve $F^-$ iyonlarının derişimleri bilinmediğinden bu derişim değerlerini “x” ile gösterelim. Sonra da dengedeki iyon derişimlerini çözünürlük denge denkleminde yerlerine yazarak iyon derişimlerini hesaplayalım.



$$CaF_2(k) \rightleftharpoons Ca^{2+}(suda) + 2F^-(suda)$$

| | $CaF_2(k)$ | $Ca^{2+}(suda)$ | $2F^-(suda)$ |
|---|---|---|---|
| Başlangıç: | | – | – |
| Değişim : | –x | +x | +2x |
| Denge : | | x | 2x |

İyonların dengedeki derişimlerini çözünürlük denge denkleminde yerlerine yazalım.

$$K_{çç} = [Ca^{2+}][F^-]^2$$
$$4,0 \cdot 10^{-11} = (x) \cdot (2x)^2$$
$$4,0 \cdot 10^{-11} = 4x^3$$
$$x = 2,1 \cdot 10^{-4}$$
$$[Ca^{2+}] = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$
$$[F^-] = 2 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$CaF_2$ katısı ve $Ca^{2+}$ iyonunun stokiyometrik katsayıları aynı olduğundan çözeltide bulunan $Ca^{2+}$ iyonu kadar $CaF_2$ katısı çözünür. Bu nedenle $CaF_2$'ün çözünürlüğü $2,1 \cdot 10^{-4}$ mol/L'dir.

## Örnek 29

**25 °C'ta doygun $Ag_2CrO_4$ çözeltisinin çözünürlüğü $8,43 \cdot 10^{-5}$ mol/L'dir. Buna göre $Ag_2CrO_4$'ın çözünürlük çarpımı "$K_{çç}$" değerini hesaplayınız.**

## Çözüm 29

Önce $Ag_2CrO_4$ katısının sulu çözeltisine ait denge tepkimesini yazalım. $Ag_2CrO_4$'ın çözünürlüğü bilindiğinden dengedeki $Ag^+$ ve $CrO_4^{2-}$ iyonlarının derişimlerini belirleyelim. Sonra da dengedeki iyon derişimlerini çözünürlük denge denkleminde yerlerine yazarak çözünürlük çarpımını hesaplayalım.

| | $Ag_2CrO_4(k)$ $\rightleftharpoons$ | $2Ag^+(suda)$ + | $CrO_4^{2-}(suda)$ |
|---|---|---|---|
| Başlangıç: | | – | – |
| Değişim : | $-8,43 \cdot 10^{-5}$ | $+(2 \cdot 8,43 \cdot 10^{-5})$ | $+8,43 \cdot 10^{-5}$ |
| Denge : | | $1,686 \cdot 10^{-4}$ | $8,43 \cdot 10^{-5}$ |

$$K_{çç} = [Ag^+]^2[CrO_4^{2-}]$$
$$K_{çç} = (1,686 \cdot 10^{-4})^2 \cdot (8,43 \cdot 10^{-5})$$
$$K_{çç} = 2,4 \cdot 10^{-12}$$

## Alıştırma 14

**25 °C'ta doygun $Pb(OH)_2$ çözeltisinin çözünürlük çarpımı "$K_{çç}$" değeri $2,8 \cdot 10^{-16}$ dır. Buna göre $Pb(OH)_2$'in çözünürlüğü kaç mol/L'dir?**

## 6.3.13 TUZLARIN ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Suda az çözünen tuzların çözünürlüğü, çözeltide bulunan katı hâldeki tuzlar ile iyonları arasındaki denge tepkimesiyle ilgili olduğuna göre bu dengeye dışarıdan bir etki yapıldığında Le Chatelier İlkesi gereği denge bu etkiyi azaltacak yönde tepki gösterir. Dolayısıyla çözünürlüğe etki eder. Çözünme-çökelme denge tepkimelerinde tuzların çözünürlüğüne etki eden faktörlerden biri sıcaklık, diğeri de ortak iyon etkisidir.

### Tuzların Çözünürlüğüne Sıcaklığın Etkisi

Tuzların çözünürlüğüne sıcaklığın etkisi konusuna 3. ünitenin 5. bölümünde değinilmiş, tuzların çözünürlüğünün genellikle sıcaklıkla arttığı ifade edilmişti. Az çözünen tuzların çözünme tepkimelerinin ısı değişimi biliniyorsa sıcaklık değişiminin çözünürlüğe etkisi Le Chatelier İlkesi'ne göre açıklanabilir. Çözünürlüğü endotermik olan AgCl'ün aşağıdaki çözünürlük dengesini ele alalım:



$AgCl(k) + ısı \rightleftharpoons Ag^{+}(suda) + Cl^{-}(suda)$

Çözünürlük denge tepkimesine göre suda az çözünen AgCl'ün sıcaklığı artırıldığında, Le Chatelier İlkesi'ne göre denge ürünler yönüne ilerler. AgCl'ün çözünürlüğü artacağından $Ag^{+}$ ve $Cl^{-}$ iyonlarının derişimi de artar. Dolayısıyla AgCl'ün çözünürlük çarpımı "$K_{çç}$" değeri artar. Sıcaklık azaltıldığında ise Le Chatelier İlkesi'ne göre denge girenler yönüne ilerler. Bu durumda AgCl'ün çözünürlüğü azalacağından $Ag^{+}$ ve $Cl^{-}$ iyonlarının derişimi de azalır. Dolayısıyla AgCl'ün çözünürlük çarpımı "$K_{çç}$" değeri azalır. Tablo 6.3.5'te AgCl tuzunun sıcaklığa bağlı olarak çözünürlüğü ve "$K_{çç}$" değerleri verilmiştir. İnceleyiniz.

**Hatırlatma**



***Le Chatelier İlkesi****'ne göre "Denge hâlindeki sisteme dışarıdan herhangi bir etki yapıldığında, sistem bu etkiyi azaltacak yöne doğru hareket eder ve yeniden dengeye ulaşır."*

***Tablo 6.3.5:*** AgCl tuzunun farklı sıcaklıklardaki çözünürlüğü ve "$K_{çç}$" değerleri

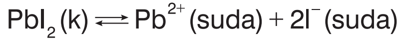
| Sıcaklık / Özellik | 25 °C | 30 °C | 40 °C | 50 °C |
|---|---|---|---|---|
| Çözünürlük | $1,26 \cdot 10^{-5}$ | $1,69 \cdot 10^{-5}$ | $2,63 \cdot 10^{-5}$ | $3,82 \cdot 10^{-5}$ |
| "$K_{çç}$" değeri | $1,6 \cdot 10^{-10}$ | $2,9 \cdot 10^{-10}$ | $6,9 \cdot 10^{-10}$ | $1,5 \cdot 10^{-9}$ |

Çözünürlüğü ekzotermik olan ve az çözünen tuzların sıcaklığı artırıldığında, Le Chatelier İlkesi'ne göre denge girenler yönüne ilerler. Çözünürlük dengesinde iyonların derişimi azalacağından

çözünürlük çarpımı “$K_{çç}$” değeri azalır. Sıcaklık azaltıldığında ise Le Chatelier İlkesi’ne göre denge ürünler yönüne ilerler. Bu durumda iyon derişimi artacağından çözünürlük çarpımı “$K_{çç}$” değeri artar.

## Tuzların Çözünürlüğüne Ortak İyon Etkisi

Çözünürlük dengelerinde şimdiye kadar verilen doygun çözeltilerin iyonlarının tek bir kaynaktan yani saf katı bileşiklerden geldiğini gördük. Şimdi de az çözünen bir tuzun çözeltisine, bu tuzun iyonlarından birinin bulunduğu başka bir tuzun ya da o tuzun çözeltisi eklendiğinde çözünürlüğün nasıl değişeceğini irdeleyelim. Suda az çözünen $PbI_2$ tuzunun çözünürlük denge tepkimesi aşağıdaki gibidir:



$PbI_2(k) \rightleftharpoons Pb^{2+}(suda) + 2I^-(suda)$

Suda tamamen iyonlarına ayrışan KI tuzunun çözünme tepkimesi ise şöyledir:



$KI(k) \longrightarrow K^+(suda) + I^-(suda)$

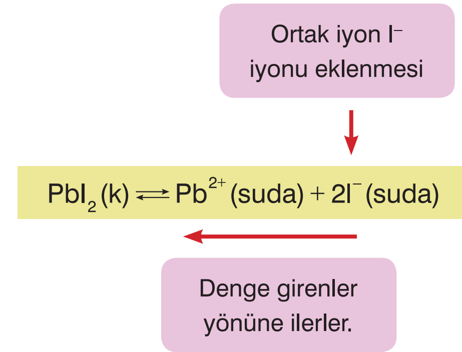
Eğer $PbI_2$ çözeltisine, çözeltideki iyonlardan birini sağlayan KI çözeltisi eklenirse KI’den gelen $I^-$ iyonları $PbI_2$ tuzunun iyonlaşma denge tepkimesinde de görüleceği gibi çözeltideki $I^-$ iyonları derişimini artıracaktır (Resim 6.3.6).

Çözeltideki $I^-$ iyonları derişiminin artması, çözünürlük çarpımı “$K_{çç}$” değerini artırır. Bu durumda Le Chatelier İlkesi’ne göre denge girenler yönüne ilerleyerek iyon çarpımı “$K_{çç}$” değeri yeniden aynı değere gelinceye kadar $PbI_2$ tuzu çökelir. Böylece $PbI_2$’ün çözünürlüğü azalır (Şekil 6.3.6).

Suda az çözünen bir tuzun doygun çözeltisine, çözeltideki ortak iyonlardan birinin eklenmesi ile çözünürlükteki azalma **ortak iyon etkisi** olarak adlandırılır.



*Resim 6.3.6:* Doygun $PbI_2$ çözeltisine KI çözeltisi eklendiğinde $I^-$ iyonunun ortak iyon etkisi ile sarı $PbI_2$ katısı çökelir.




*Şekil 6.3.6:* Az çözünen bir tuzun çözeltisine ortak iyonlardan birinin eklenmesiyle net tepkimenin yönü değişir.

**Örnek 30**

**25 °C’ta doygun AgCl çözeltisinin çözünürlük çarpımı “$K_{çç}$” değeri $1,6 \cdot 10^{-10}$ dur. Buna göre;**

**a) AgCl’ün saf sudaki çözünürlüğünü hesaplayınız.**

**b) AgCl’ün 0,1 M KCl çözeltisindeki çözünürlüğünü hesaplayınız.**

**c) AgCl’ün saf sudaki ve KCl çözeltisindeki çözünürlüklerini karşılaştırınız.**

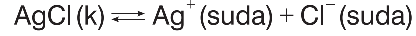
## Bilgi Notu

*Doygun AgCl çözeltisine KCl çözeltisi eklendiğinde $Cl^-$ iyonunun ortak iyon etkisi ile beyaz AgCl katısı çökelir.*



### Çözüm 30

**a)** Önce AgCl'ün çözünürlük dengesini yazarak çözeltide bulunan $Ag^+$ ve $Cl^-$ iyonlarının derişimlerini hesaplayalım.



$$AgCl(k) \rightleftharpoons Ag^+(suda) + Cl^-(suda)$$

| | $AgCl(k)$ | $Ag^+(suda)$ | $Cl^-(suda)$ |
|---|---|---|---|
| Başlangıç: | | – | – |
| Değişim : | – | +x | +x |
| Denge : | | x | x |

$$K_{çç} = [Ag^+][Cl^-]$$

$$1,6 \cdot 10^{-10} = (x) \cdot (x)$$

$$1,6 \cdot 10^{-10} = x^2$$

$$x = 1,2 \cdot 10^{-5}$$

$$[Ag^+] = [Cl^-] = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

AgCl katısı ve $Ag^+$ iyonunun stokiyometrik katsayıları aynı olduğundan çözeltide bulunan $Ag^+$ iyonu kadar AgCl katısı çözünür. Bu nedenle AgCl'ün saf sudaki çözünürlüğü $1,2 \cdot 10^{-5}$ mol/L'dir.

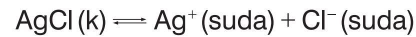
**b)** KCl suda tamamen iyonlarına ayrışır. Önce KCl'ün suda çözünme tepkimesini yazarak 0,1 M KCl çözeltisindeki $K^+$ ve $Cl^-$ iyonlarının derişimlerini belirleyelim.



$$KCl(k) \longrightarrow K^+(suda) + Cl^-(suda)$$

| $KCl(k)$ | $K^+(suda)$ | $Cl^-(suda)$ |
|---|---|---|
| 0,1M | – | – |
| 0 | 0,1 M | 0,1 M |

$Cl^-$ iyonunun kaynağı hem AgCl hem de KCl çözeltisidir. Dolayısıyla $Cl^-$ iyonu ortak iyondur. Şimdi, 0,1 M KCl çözeltisinin varlığında AgCl'ün çözünürlüğünü hesaplayalım.



$$AgCl(k) \rightleftharpoons Ag^+(suda) + Cl^-(suda)$$

| | $AgCl(k)$ | $Ag^+(suda)$ | $Cl^-(suda)$ |
|---|---|---|---|
| Başlangıç: | | – | 0,1 M |
| Değişim : | –x | +x | +x |
| Denge : | | x | 0,1 + x |

AgCl'ün çözünürlüğünden gelen "x" M $Cl^-$ iyonu derişimi, KCl'ün çözünmesinden gelen 0,1 M $Cl^-$ iyonu derişimi yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Dolayısıyla hesap-

lamayı kolaylaştırmak için dengedeki “0,1 + x” derişimindeki “x” derişimi ihmal edilebilir. Bu durumda çözeltideki $Cl^-$ iyonu derişimi 0,1 M kabul edilebilir.

$$K_{çç} = [Ag^+][Cl^-]$$

$$1,6 \cdot 10^{-10} = (x) \cdot (x)$$

$$1,6 \cdot 10^{-10} = (x) \cdot (0,1)$$

$$x = 1,6 \cdot 10^{-9}$$

$$[Ag^+] = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$$

AgCl katısı ve $Ag^+$ iyonunun stokiyometrik katsayıları aynı olduğundan KCl çözeltisinin varlığında çözeltide $Ag^+$ iyonu kadar AgCl katısı çözünür. Bu nedenle AgCl’ün KCl çözeltisindeki çözünürlüğü $1,6 \cdot 10^{-9}$ mol/L’dir.

**c)** AgCl’ün saf sudaki çözünürlüğü $1,2 \cdot 10^{-5}$ mol/L, KCl çözeltisindeki çözünürlüğü $1,6 \cdot 10^{-9}$ mol/L’dir. Ortak iyon olan $Cl^-$ iyonunun varlığında Le Chatelier İlkesi’ne göre net tepkime girenler yönüne ilerler ve AgCl’ün çözünürlüğü azalır.

## Örnek 31

**25 °C’ta doygun $Fe(OH)_2$ çözeltisinin çözünürlük çarpımı “$K_{çç}$” değeri $1,6 \cdot 10^{-14}$ tür. Buna göre;**

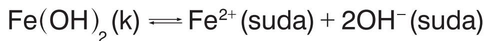
**a) $Fe(OH)_2$’in saf sudaki çözünürlüğünü hesaplayınız.**

**b) 0,2 M NaOH çözeltisindeki çözünürlüğünü hesaplayınız.**

**c) $Fe(OH)_2$’in saf sudaki ve NaOH çözeltisindeki çözünürlüklerini karşılaştırınız.**

## Çözüm 31

**a)** Önce $Fe(OH)_2$’in çözünürlük dengesini yazarak çözeltide bulunan $Fe^{2+}$ ve $OH^-$ iyonlarının derişimlerini hesaplayalım.



$$Fe(OH)_2(k) \rightleftharpoons Fe^{2+}(suda) + 2OH^-(suda)$$

| | $Fe(OH)_2(k)$ | $Fe^{2+}(suda)$ | $2OH^-(suda)$ |
|---|---|---|---|
| Başlangıç: | | – | – |
| Değişim : | –x | +x | +2x |
| Denge : | | x | 2x |

Çözünürlük denge denkleminde iyonların derişimlerini yerlerine yazarak her bir iyonun derişimini hesaplayalım.

$$K_{çç} = [Fe^{2+}][OH^-]^2$$

$$1,6 \cdot 10^{-14} = (x) \cdot (2x)^2$$

$$1,6 \cdot 10^{-14} = 4x^3$$

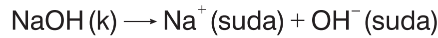
$$x = 1,6 \cdot 10^{-5}$$

$$[Fe^{2+}] = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$[OH^-] = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-5} = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

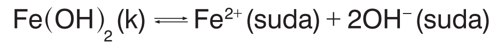
$Fe(OH)_2$ katısı ve $Fe^{2+}$ iyonunun stokiyometrik katsayıları aynıdır. Dolayısıyla sulu çözeltide bulunan $Fe^{2+}$ iyonu derişimi kadar $Fe(OH)_2$ katısı çözünmüştür. Bu nedenle $Fe(OH)_2$'in çözünürlüğü $1,6 \cdot 10^{-5}$ mol/L'dir.

**b)** NaOH suda tamamen iyonlarına ayrışır. Önce NaOH'in suda çözünme tepkimesini yazarak çözeltideki $Na^+$ ve $OH^-$ iyonlarının derişimlerini belirleyelim.


$$NaOH(k) \longrightarrow Na^+(suda) + OH^-(suda)$$

| | | |
|---|---|---|
| 0,2 M | – | – |
| 0 | 0,2 M | 0,2 M |

$OH^-$ iyonunun kaynağı hem $Fe(OH)_2$ hem de NaOH çözeltisidir. Bu nedenle $OH^-$ iyonu ortak iyondur. Şimdi, 0,2 M NaOH çözeltisinin varlığında $Fe(OH)_2$'in çözünürlüğünü hesaplayalım.


$$Fe(OH)_2(k) \rightleftharpoons Fe^{2+}(suda) + 2OH^-(suda)$$

| | $Fe(OH)_2(k)$ | $Fe^{2+}(suda)$ | $2OH^-(suda)$ |
|---|---|---|---|
| Başlangıç: | | – | 0,2 M |
| Değişim : | –x | +x | +2x |
| Denge : | | x | 0,2 + 2x |



**Bilgi Notu**

*Ortak iyon etkisi, az çözünen tuzların çözünürlüğünü azaltır.*

$Fe(OH)_2$'in çözünürlüğünden gelen $OH^-$ iyonu derişimi, NaOH'in çözünmesinden gelen 0,2 M $OH^-$ iyonu derişimi yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Dolayısıyla hesaplamayı kolaylaştırmak için dengedeki "0,2 + 2x" derişimindeki "2x" derişimi ihmal edilebilir. Bu durumda çözeltideki $OH^-$ iyonu derişimi 0,2 M kabul edilebilir.

$$K_{çç} = [Fe^{2+}][OH^-]^2$$

$$1,6 \cdot 10^{-14} = x \cdot (0,2)^2$$

$$x = [Fe^{2+}] = 4,0 \cdot 10^{-13} \text{ mol/L}$$

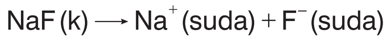
**c)** $Fe(OH)_2$'in saf sudaki çözünürlüğü $1,6 \cdot 10^{-5}$ mol/L, NaOH çözeltisindeki çözünürlüğü $4,0 \cdot 10^{-13}$ mol/L'dir. Ortak iyon olan $OH^-$ iyonunun varlığında Le Chatelier İlkesi'ne göre net tepkime girenler yönüne ilerler ve $Fe(OH)_2$'in çözünürlüğü azalır.

**Örnek 32**

**25 °C'ta doygun $MgF_2$ çözeltisinin çözünürlük çarpımı "$K_{çç}$" değeri $6,4 \cdot 10^{-9}$ dur. Buna göre $MgF_2$'ün 0,1 M NaF çözeltisindeki çözünürlüğünü hesaplayınız.**

**Çözüm 32**

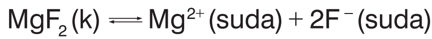
NaF suda tamamen iyonlarına ayrışır. Önce NaF'ün suda çözünme tepkimesini yazarak çözeltideki $Na^+$ ve $F^-$ iyonlarının derişimlerini belirleyelim.



$$NaF(k) \longrightarrow Na^+(suda) + F^-(suda)$$

| NaF (k) | $Na^+$ (suda) | $F^-$ (suda) |
|---|---|---|
| 0,1 M | – | – |
| 0 | 0,1 M | 0,1 M |

$F^-$ iyonunun kaynağı hem $MgF_2$ hem de NaF çözeltisidir. Bu nedenle $F^-$ iyonu ortak iyondur. Şimdi, 0,1 M NaF çözeltisinin varlığında $MgF_2$'ün çözünürlüğünü hesaplayalım.



$$MgF_2(k) \rightleftharpoons Mg^{2+}(suda) + 2F^-(suda)$$

| | $MgF_2$ (k) | $Mg^{2+}$ (suda) | $2F^-$ (suda) |
|---|---|---|---|
| Başlangıç: | | – | 0,1 M |
| Değişim : | –x | +x | +2x |
| Denge : | | x | 0,1 + 2x |

$MgF_2$'ün çözünürlüğünden gelen $F^-$ iyonu derişimi, NaF'ün çözünmesinden gelen 0,1 M $F^-$ iyonu derişimi yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Dolayısıyla hesaplamayı kolaylaştırmak için dengedeki "0,1 + 2x" derişimindeki "2x" derişimi ihmal edilebilir. Bu durumda çözeltideki $F^-$ iyonu derişimi 0,1 M kabul edilebilir.

$$K_{çç} = [Mg^{2+}][F^-]^2$$

$$6,4 \cdot 10^{-9} = x \cdot (0,1)^2$$

$$x = [Mg^{2+}] = 6,4 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$$

**Alıştırma 15**

**25 °C'ta doygun $PbCl_2$ çözeltisinin çözünürlük çarpımı "$K_{çç}$" değeri $1,6 \cdot 10^{-5}$ tir. Buna göre;**

**a) $PbCl_2$'ün saf sudaki çözünürlüğünü hesaplayınız.**

**b) $PbCl_2$'ün 0,4 M $NH_4Cl$ çözeltisindeki çözünürlüğünü hesaplayınız.**

# 6. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

## A.

***Aşağıdaki metinde numaralandırılmış boşlukları kutularda verilen kelime ya da kelime grubundan uygun olanla tamamlayınız.***

**asitlik sabiti**, basınç, **proton**, Le Chatelier İlkesi'ne, **kimyasal denge**, iyonlaşabilen, **pH**, çözünürlük çarpımı, **$H^+$ iyonu**, bazlık sabiti

Kimyasal tepkimelerin bazıları tek yönlü olmakla birlikte birçoğu hem ileri hem de geri yönlü yani tersinir tepkimelerdir. Bu tür tepkimelerde ileri yöndeki tepkimenin hızı, geri yöndeki tepkimenin hızına eşit olduğu anda .................. (1) kurulur. Denge hâlindeki bir sisteme dışarıdan bir etki yapıldığında, .................. (2) göre sistem bu etkiyi azaltacak yönde hareket eder ve yeniden dengeye ulaşır. Dengeye derişim, .................. (3), hacim ve sıcaklık gibi faktörler etki eder.

Kimyasal tepkimelerin en önemli sınıflarından birini sulu çözeltilerde gerçekleşen asit-baz tepkimeleri oluşturur. Bu tepkimelerde derişimleri nicel olarak ifade edebilmek için .................. (4) kavramı kullanılır. Farklı şekillerde asit ve baz tanımı yapmak mümkündür. Hatırlanacağı gibi Arrhenius tanımı, suda çözündüğünde .................. (5) veya $OH^-$ iyonu oluşturmasına göre yapılan tanımdır. Biraz daha kapsamlı bir tanım olan Brønsted-Lowry asit-baz tanımı, .................. (6) alışverişine göre yapılan tanımdır. Asit ve bazlar, suda çözündüğünde iyonlaşabilen maddelerdir. Dolayısı ile bir asidin veya bir bazın kuvvetli olup olmamasının ölçüsü, suda ne kadar iyonlaşabildiği ile ilgilidir. Suda çözündüğünde tamamen .................. (7) asitler kuvvetli asitler, bazlar ise kuvvetli bazlardır. Tersine, suda çözündüğünde kısmen iyonlaşabilen asitler zayıf asitler, bazlar ise zayıf bazlardır. Zayıf asitlerin iyonlaşma denge tepkimeleri, .................. (8) denilen "$K_a$", zayıf bazların iyonlaşma denge tepkimeleri ise .................. (9) denilen "$K_b$" değerleri ile ifade edilir. Belirli bir sıcaklıkta "$K_a$" ve "$K_b$" değeri arttıkça zayıf asidin ve zayıf bazın kuvveti de artar. Zayıf asit ve bazlarda olduğu gibi az çözünen tuzların çözünürlük denge tepkimeleri de .................. (10) denilen "$K_{çç}$" ile ifade edilir.

## B.

***Aşağıda verilen ifadeleri okuyunuz. İfadeler doğru ise "D", yanlış ise "Y" harfini işaretleyiniz.***

Ⓓ Ⓨ **1.** Katı ve sıvı maddelerin derişimleri sabit olduğundan denge denklemlerinde yer almaz.

Ⓓ Ⓨ **2.** Denge hâlindeki bir tepkimeye giren maddelerden biri eklendiğinde net tepkime ürünler yönüne ilerler.

Ⓓ Ⓨ **3.** "Ka" değeri büyük olan zayıf bir asidin konjuge bazının "$K_b$" değeri de büyüktür.

Ⓓ Ⓨ **4.** Denge sabiti "$K_c$"nin değeri sıcaklıkla değişir.

Ⓓ Ⓨ **5.** Dinamik denge, gözlenebilir olayların sonlandığı, gözlenemeyen olayların devam ettiği bir süreçtir.

Ⓓ Ⓨ **6.** Basınç artışına bağlı olarak gazların çözünürlüğü azalır.

Ⓓ Ⓨ **7.** Kuvvetli asit ve bazların iyonlaşma yüzde oranı, zayıf asit ve bazların iyonlaşma yüzde oranlarından büyüktür.

Ⓓ Ⓨ **8.** Bir maddenin asit olup olmadığı, molekülünde hidrojen atomunun olup olmadığına bakılarak belirlenir.

## C. *Aşağıdaki soruları cevaplayınız.*

**1.** Fiziksel ve kimyasal denge nedir? Aralarındaki farkı birer örnekle açıklayınız.

**2.** Aşağıdaki tepkimelerin denge denklemlerini derişimler ve kısmi basınçlar türünden yazınız.

**a)** $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

**b)** $MgCO_3(k) \rightleftharpoons MgO(k) + CO_2(g)$

**3.** $C(k) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$

Belirli bir sıcaklıkta 2 L'lik kapalı bir kaba 4 mol C katısı ve 3 mol $CO_2$ gazı konularak yukarıdaki tepkime gerçekleşiyor. Buna göre dengedeki tepkimenin $K_c$ değeri kaçtır?

**4.** $3O_2(g) + 284{,}2\ kJ \rightleftharpoons 2O_3(g)$ tepkimesine aşağıdaki işlemler uygulandığında net tepkimenin yönünü belirleyiniz.

**a)** $O_2$ eklenmesi durumunda

**b)** Sıcaklığın artırılması durumunda

**c)** Basıncın azaltılması durumunda

**ç)** Katalizör eklenmesi durumunda

**5.** Bir asit çözeltisinden alınan numunenin $H^+$ iyonları derişimi $1 \cdot 10^{-3}$ mol/L'dir. Buna göre çözeltinin pH ve pOH değerleri kaçtır?

**6.** 0,5 M'lık HCl çözeltisi ile 0,2 M'lık 100 mL NaOH çözeltisi titre ediliyor. Tepkimenin sonlanma noktasında kaç mL HCl çözeltisi harcanır?

**7.** 25 °C'ta "$K_{çç}$" değeri $1{,}4 \cdot 10^{-5}$ olan $Ag_2SO_4$ katısının sudaki çözünürlüğünü hesaplayınız.

**8.** 25 °C'ta $CaF_2$'ün çözünürlük çarpımı "$K_{çç}$" değeri $4{,}0 \cdot 10^{-11}$ dir. Buna göre $CaF_2$'ün 0,2 M NaF çözeltisindeki molar çözünürlüğünü hesaplayınız.

## Ç. *Aşağıda verilen ifadeleri kavramlarla eşleştiriniz.*

| İfade | Kavram | Eşleştirme |
|---|---|---|
| **1.** Hem ileri hem de geri yönde ilerleyen kimyasal tepkimelerdir. | **a.** Kuvvetli asitler | .......... |
| **2.** Gözlenebilir olayların sonlandığı, gözlenemeyen olayların devam ettiği bir süreçtir. | **b.** Baz | .......... |
| **3.** Bir çözeltide hidrojen iyonu derişiminin negatif logaritmasıdır. | **c.** Tampon çözelti | .......... |
| **4.** Proton veren maddelerdir. | **ç.** Tersinir tepkimeler | .......... |
| **5.** Belirli miktarlara kadar asit veya baz eklendiğinde, çözeltinin pH değerinin değişmesini engeller yönde tepkime verebilen çözeltidir. | **d.** Asit | .......... |
| **6.** Bir iyonun $H_2O$ ile verdiği tepkimedir. | **e.** Dinamik denge | .......... |
| **7.** Proton alan maddelerdir. | **f.** Hidroliz | .......... |
| **8.** Suda çözündüğünde tamamen iyonlaşabilen asitlerdir. | **g.** Titrasyon | .......... |
| | **h.** pH | |

## D.

***Çizelgede çözelti türlerine ilişkin verilen sayısal değerleri kullanarak yay ayraç içindeki rakamların bulunduğu yerlere gerekli hesaplamaları yaparak istenilen sayısal değerleri yazınız*** *(HCN için $K_a = 6{,}2 \cdot 10^{-10}$, $NH_3$ için $K_b = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$, log(0,015) = 1,82, log(0,04) = 1,40, log($2{,}5 \cdot 10^{-6}$) = 5,60, log($2{,}7 \cdot 10^{-3}$) = 2,57.*

| Çözelti türü | Derişim (M) | $[H^+]$ M | $[OH^-]$ M | pH | pOH |
|---|---|---|---|---|---|
| HCl | 0,015 | (a) ...................... | (b) ...................... | (c) ...................... | (ç) ...................... |
| $Ca(OH)_2$ | (d) ...................... | (e) ...................... | 0,04 | (f) ...................... | (g) ...................... |
| HCN | (h) ...................... | $2{,}5 \cdot 10^{-6}$ | (ı) ...................... | (i) ...................... | (j) ...................... |
| $NH_3$ | (k) ...................... | (l) ...................... | $2{,}7 \cdot 10^{-3}$ | (m) ...................... | (n) ...................... |

## E.

***Aşağıda verilen çoktan seçmeli soruları cevaplayınız.***

**1. Aşağıdaki tepkimelerin hangisinde maksimum düzensizlik eğilimi ürünler yönünedir?**

**A)** $H_2O(g) \rightleftharpoons H_2O(s)$

**B)** $Ag^+(suda) + Cl^-(suda) \rightleftharpoons AgCl(k)$

**C)** $2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + O_2(g)$

**D)** $CO_2(g) \rightleftharpoons CO_2(suda)$

**E)** $CaO(k) + CO_2(g) \rightleftharpoons CaCO_3(k)$

**2. Denge hâlindeki bir tepkime için;**

I. Dinamik bir dengedir.

II. İleri ve geri tepkime hızları eşittir.

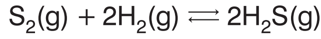
III. Girenlerin ve ürünlerin derişimleri sabittir.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız III **B)** I ve II **C)** I ve III

**D)** II ve III **E)** I, II ve III

**3.** 2 L'lik bir kaba 0,4 mol $S_2$ ve 0,6 mol $H_2$ gazları konularak aşağıdaki denge tepkimesi kuruluyor.


$S_2(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons 2H_2S(g)$

**Dengede 0,2 mol $S_2$ gazı bulunduğuna göre dengedeki tepkimenin $K_c$ değeri kaçtır?**

**A)** 5 **B)** 10 **C)** 20 **D)** 40 **E)** 50

**4.** $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

**tepkimesine ait $K_p$ ve $K_c$ değerleri arasındaki eşitlik aşağıdakilerden hangisidir?**

**A)** $K_p = K_c$

**B)** $K_p = K_c\ (RT)$

**C)** $K_p = K_c\ (RT)^2$

**D)** $K_p = K_c\ (1/RT)^2$

**E)** $K_p = K_c\ (1/RT)$

**5. Aşağıdaki hangi tepkime için $K_p = K_c$'dir?**

**A)** $2Na_2O_2(k) + 2CO_2(g) \rightleftharpoons 2Na_2CO_3(k) + O_2(g)$

**B)** $CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$

**C)** $NH_4NO_3(k) \rightleftharpoons N_2O(g) + 2H_2O(g)$

**D)** $S(k) + CO(g) \rightleftharpoons COS(g)$

**E)** $CH_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g)$

**6.** $H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)$

**Belirli sıcaklıkta 1 L'lik kapalı bir kaba ikişer mol $H_2$ ve $I_2$ konularak yukarıdaki denge tepkimesi kuruluyor. Tepkimenin denge sabiti $K_c = 4$ olduğuna göre dengede HI gazının derişimi kaç mol/L'dir?**

**A)** 0,2 **B)** 0,4 **C)** 1 **D)** 2 **E)** 4

**7.** $2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g) + 197{,}8$ kJ

**Tepkimesi belirli sıcaklıkta kapalı bir kapta dengede iken sisteme aşağıdaki işlemler uygulanıyor.**

I. Basınç artırılıyor.

II. Sıcaklık azaltılıyor.

III. Kaba $SO_3$ gazı ekleniyor.

**Buna göre uygulanan hangi işlem ya da işlemlerde net tepkime ürünler yönüne ilerler?**

**A)** Yalnız II **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**8. Denge hâlindeki bir sistemin "$K_c$" değerini aşağıdaki işlemlerden hangisi değiştirir?**

**A)** Katalizör eklemek

**B)** Basıncı değiştirmek

**C)** Sıcaklığı değiştirmek

**D)** Ürünlerin derişimini azaltmak

**E)** Girenlerin derişimini artırmak

**9. Belirli sıcaklıkta $OH^-$ iyonları derişimi 0,001 M olan çözeltinin pH değeri kaçtır?**

**A)** 1 **B)** 3 **C)** 7 **D)** 9 **E)** 11

**10.** I. 0,01 M HCl çözeltisi

II. 0,01 M $NH_3$ çözeltisi

III. 0,01 M NaOH çözeltisi

**Yukarıdaki çözeltilerin pH değerlerinin büyüklükleri bakımından karşılaştırılması aşağıdakilerin hangisinde doğru olarak verilmiştir** *($NH_3$ için $K_a = 1,8 \cdot 10^{-5}$)*?

**A)** III > II > I **B)** III > I > II **C)** II > III > I **D)** II > I > III **E)** I > III > II

**11.** $HNO_2(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NO_2^-(suda) + H_3O^+(suda)$

**denge tepkimesine göre**

I. $NO_2^-$ proton alır.

II. $HNO_2$ asit olarak davranır.

III. $H_2O$ ve $H_3O^+$ konjuge asit baz çiftidir.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız III **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

**12.** $HClO_4(suda) + H_2O(suda) \rightleftharpoons ClO^-_4(suda) + H_3O^+(suda)$

**Yukarıda verilen denge tepkimesinin belirli sıcaklıkta "$K_a$" değeri $1 \cdot 10^{-4}$ tür. 0,01 M $HClO_4$ çözeltisinin iyonlaşma yüzde oranı kaçtır?**

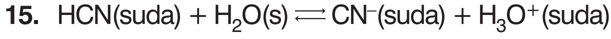
**A)** 2 **B)** 5 **C)** 10 **D)** 15 **E)** 20

**13. Aşağıdaki sistemlerden hangisi tampon çözelti oluşturur?**

**A)** HF / HBr **B)** $F^-$ / HF **C)** NaCl / KCl **D)** HCl / NaOH **E)** $NH_3$ / $H_2O$

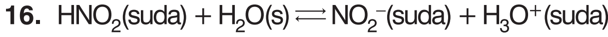
**14. 0,2 M'lık 150 mL $HNO_3$ çözeltisi 0,3 M NaOH çözeltisi ile titre ediliyor. Tepkimenin eş değerlik noktasında kaç mL NaOH çözeltisi harcanır?**

**A)** 300 **B)** 200 **C)** 100 **D)** 50 **E)** 25

**15.** 
$HCN(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons CN^-(suda) + H_3O^+(suda)$

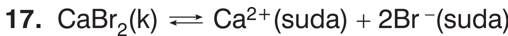
**Yukarıdaki denge tepkimesine göre 0,1 M HCN çözeltisindeki $H_3O^+$ iyonlarının derişimi kaç molardır** *(HCN için $K_a$ = 6,2 · $10^{-10}$)?*

**A)** 6,2 · $10^{-8}$ **B)** 3,4 · $10^{-7}$ **C)** 7,9 · $10^{-6}$ **D)** 5,6 · $10^{-5}$ **E)** 8,4 · $10^{-4}$

**16.** 
$HNO_2(suda) + H_2O(s) \rightleftharpoons NO_2^-(suda) + H_3O^+(suda)$

**Yukarıdaki denge tepkimesine göre 0,02 M $HNO_2$ çözeltisinin pH değeri kaçtır** *($HNO_2$ için $K_a$ = 4,5 · $10^{-4}$, log 3 = 0,5)?*

**A)** 1,0 **B)** 2,5 **C)** 3,2 **D)** 4,6 **E)** 25

**17.** 
$CaBr_2(k) \rightleftharpoons Ca^{2+}(suda) + 2Br^-(suda)$

**Yukarıdaki tepkimenin çözünürlük denge sabiti ifadesi aşağıdakilerden hangisidir?**

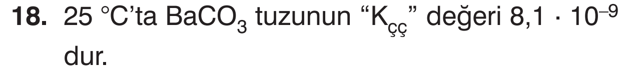
**A)** $K_{çç}$ = $[Ca^{2+}]$ $[Br^-]^2$

**B)** $K_{çç}$ = $[Ca^{2+}]^2$ $[Br^-]$

**C)** $K_{çç}$ = $[Ca^{2+}]$ $[Br^-]$

**D)** $K_{çç}$ = $[Ca^{2+}]$ $2[Br^-]$

**E)** $K_{çç}$ = $[CaBr_2]$

**18.** 
25 °C'ta $BaCO_3$ tuzunun "$K_{çç}$" değeri 8,1 · $10^{-9}$ dur.

**Buna göre $BaCO_3$ tuzunun çözünürlüğü kaç mol/L'dir?**

**A)** 9 · $10^{-5}$ **B)** 3 · $10^{-6}$ **C)** 5 · $10^{-8}$ **D)** 4 · $10^{-10}$ **E)** 6 · $10^{-12}$

**19. Az çözünen bir tuz için;**

25 °C'ta $K_{çç}$ = 3,1 · $10^{-8}$

30 °C'ta $K_{çç}$ = 5,4 · $10^{-8}$

**olduğuna göre;**

I. Tuzun çözünmesi endotermiktir.

II. Sıcaklık arttığında iyonların derişimi de artar.

III. Sıcaklık arttığında çözünürlük dengesi girenler yönüne ilerler.

**ifadelerinden hangileri doğrudur?**

**A)** Yalnız II **B)** Yalnız III **C)** I ve II **D)** I ve III **E)** II ve III

**20. 25 °C'ta $PbCl_2$'ün 0,02 M NaCl çözeltisindeki çözünürlüğü 4 · $10^{-5}$ M'dır. $PbCl_2$'ün çözünürlük çarpımı kaçtır?**

**A)** 6,4 · $10^{-13}$ **B)** 3,2 · $10^{-11}$ **C)** 1,6 · $10^{-8}$ **D)** 8 · $10^{-7}$ **E)** 2 · $10^{-3}$

## ELEKTRONİK TABLOLAMA PROGRAMI KULLANARAK ÇÖZÜNÜRLÜĞÜN SICAKLIK VE BASINÇLA İLİŞKİSİNİN KURGULANMASI

Katı hâldeki maddelere uygulanan sıcaklık değişimi ile gaz hâldeki maddelere uygulanan sıcaklık ve basınç değişimleri maddelerin çözünürlüklerinde farklılığa neden olur. Bu farklılıklar örneğin X katısının sıcaklık değişiminde ve Y gazının sıcaklık ve basınç değişimlerinde gözlenebilir. Aşağıda işlem basamakları verilen Elektronik Tablolama Programı kullanılarak sıcaklığın ve basıncın maddelerin çözünürlükleri üzerindeki etkisi incelenebilir.

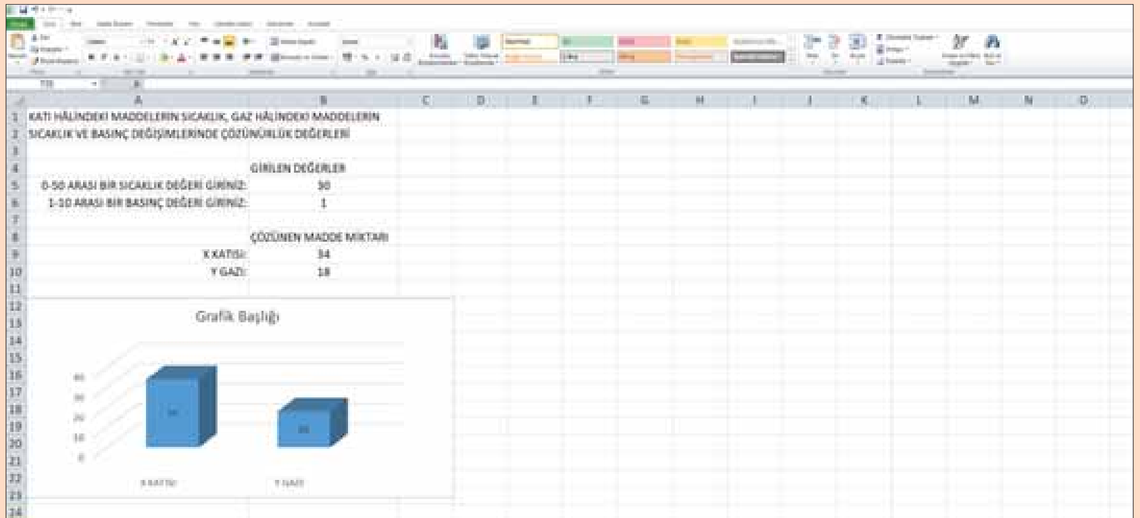
**1.** Elektronik tablolama programı başlatılır. Aşağıdaki görselde görülen bilgiler hücrelere girilir.




**2.** B9 hücresine **=YUVARLA(ÇARPIM(0,28;B5)+25,5;0)** formülünü, B10 hücresine de **=(40,5-B5*0,75)*B6** formülü girilir.

**3.** B5 hücresine 0-50 arası bir sıcaklık değeri, B6 hücresine de 1-10 arası bir basınç değeri girilir. Enter tuşuna basılır. B9 ve B10 hücrelerinde çözünen madde miktarları 2. maddede belirtilen formüllere göre hesaplanır.

**4.** A9 ve A10 hücrelerinden itibaren farenin sol tuşuna basılı olarak B9 ve B10 hücreleri seçilir. Sonra sırasıyla "Ekle", "Grafikler", "Sütun Grafik Ekle", "3B Sütun" ve "3B Yığılmış Sütun" seçenekleri işaretlenerek aşağıda görülen görseldeki gibi grafik oluşturulur.




**5.** Elektronik Tablolama Programında hücrelere girilen sıcaklık ve basınç değerlerine göre çözünen madde miktarları ve grafik değişecektir.

## ELEKTRONİK TABLOLAMA PROGRAMI KULLANARAK TEPKİME ENTALPİLERİNE İLİŞKİN GRAFİK OLUŞTURULMASI

Kimyasal tepkimelerde tepkime entalpisi (ΔH), tepkimedeki ürünlerin entalpileri (HÜ) ile girenlerin entalpileri (HG) arasındaki farktan hesaplanabilir. Aşağıda işlem basamakları verilen Elektronik Tablolama Programı kullanılarak bir tepkimede girenlerin ve ürünlerin entalpi değerleri girilerek tepkime entalpisinin grafiği oluşturulabilir.

**1.** Elektronik tablolama programı başlatılır. Aşağıdaki görselde görülen bilgiler hücrelere girilir.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | TEPKİME ENTALPİLERİNE İLİŞKİN GRAFİK OLUŞTURULMASI | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | TEPKİMEYE GİRENLERİN POTANSİYEL ENERJİ DEĞERİNİ (HG) GİRİNİZ: | | | | | | | | | |
| 4 | TEPKİMEDEKİ ÜRÜNLERİN POTANSİYEL ENERJİ DEĞERİNİ (HÜ) GİRİNİZ: | | | | | | | | | |
| 5 | TEPKİME ENTALPİ DEĞİŞİMİ (ΔH=HÜ-HG): | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| 8 | TEPKİME ENTALPİSİ | | | | | | | | | |

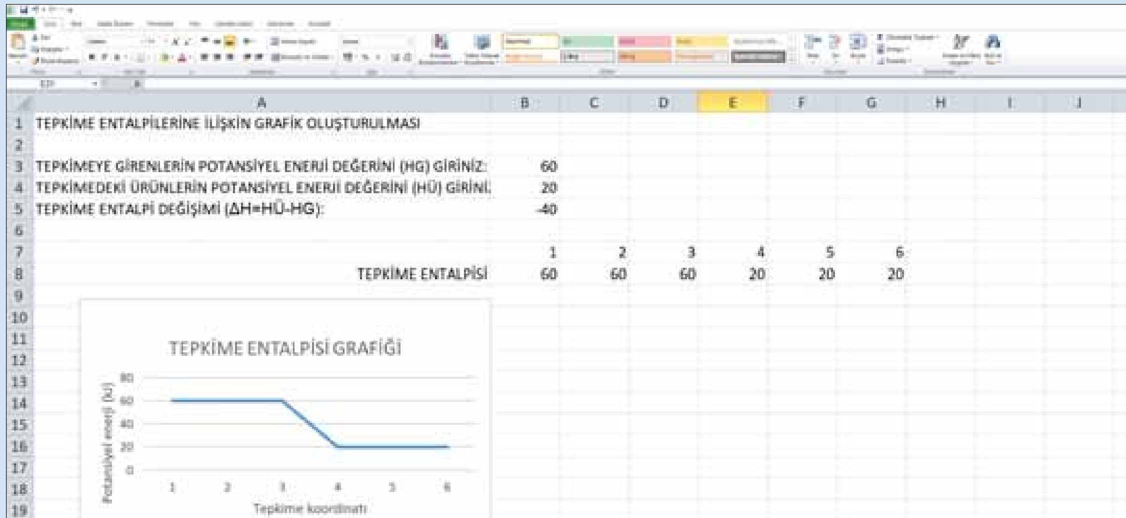
**2.** B3 ve B4 hücrelerine sayısal veriler girilir. B5 hücresine de **=B4–B3** formülü girilir.

**3.** B3 hücresindeyken farenin sağ tuşuna basılır ve kopyala seçilir. B9 hücresine gelinir, farenin sağ tuşuna basılır. Sonra "Yapıştırma Seçenekleri", "Bağlantı Yapıştır" seçilir. Aynı işlem C9 ve D9 hücreleri için de tekrarlanır.

**4.** B4 hücresindeyken farenin sağ tuşuna basılır ve kopyala seçilir. E9 hücresine gelinir, farenin sağ tuşuna basılır. Sonra "Yapıştırma Seçenekleri", "Bağlantı Yapıştır" seçilir. Aynı işlem F9 ve G9 hücreleri için de tekrarlanır.

**5.** A8 ve A9 hücrelerinden itibaren farenin sol tuşuna basılı olarak G8 ve G9 hücrelerine kadar aralıktaki bütün hücreler seçilir. Sonra sırasıyla "Ekle", "Grafikler", "Çizgi Grafik Ekle", "2B Çizgi" ve "Çizgi" seçenekleri işaretlenerek aşağıda görülen görseldeki gibi grafik oluşturulur.

**6.** Grafik seçildiğinde "Grafik Araçları" bölümünden "Tasarım" sekmesi seçilir. Bu sekmedeki sırasıyla "Grafik Ögesi Ekle" ve "Eksen Başlıkları" seçilerek yatay eksene "Tepkime koordinatı", dikey eksene "Potansiyel enerji (kJ)" ifadeleri yazılır.



| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | TEPKİME ENTALPİLERİNE İLİŞKİN GRAFİK OLUŞTURULMASI | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | TEPKİMEYE GİRENLERİN POTANSİYEL ENERJİ DEĞERİNİ (HG) GİRİNİZ: | 60 | | | | | | | | |
| 4 | TEPKİMEDEKİ ÜRÜNLERİN POTANSİYEL ENERJİ DEĞERİNİ (HÜ) GİRİNİ: | 20 | | | | | | | | |
| 5 | TEPKİME ENTALPİ DEĞİŞİMİ (ΔH=HÜ-HG): | -40 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| 8 | TEPKİME ENTALPİSİ | 60 | 60 | 60 | 20 | 20 | 20 | | | |



**7.** Elektronik Tablolama Programında hücrelere girilen potansiyel enerji değerlerine göre tepkimenin entalpi grafiği oluşacaktır.

## ELEKTRONİK TABLOLAMA PROGRAMI KULLANARAK TİTRASYON YÖNTEMİNE YÖNELİK HESAPLAMALARIN KURGULANMASI

Titrasyon yöntemi bir asit çözeltisi ile bir baz çözeltisi arasında gerçekleşen nötralleşme tepkimesidir. Aşağıda işlem basamakları verilen Elektronik Tablolama Programı kullanılarak derişimi bilinen bazın titrasyonda harcanan hacim değeri girilerek, hacmi bilinen fakat derişimi bilinmeyen asidin eş değerlik noktasındaki derişimi hesaplanabilir.

**1.** Elektronik tablolama programı başlatılır. Aşağıdaki görselde görülen bilgiler hücrelere girilir.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | HACİM DEĞERİ GİRİLECEK 0,5 M BAZ (NAOH) ÇÖZELTİSİNİN, DERİŞİMİ BİLİNMEYEN 50 mL ASİT (HCl) | | | | | | | | |
| 2 | ÇÖZELTİSİYLE TİTRASYONUNDA EŞDEĞERLİK NOKTASI İÇİN ASİT DERİŞİMİNİN HESAPLANMASI | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | BAZIN HACMİNİ GİRİNİZ: | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |
| 6 | BAZIN DERİŞİMİ: | 0,5 | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | |
| 8 | ASİDİN HACMİ: | 50 | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | |
| 10 | ASİDİN DERİŞİMİNİN HESAPLANMASI: | 0 | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | |

**2.** B6 hücresine bazın derişimi olarak 0,5 değeri, B8 hücresine de asidin hacmi olarak 50 değeri girilir.

**3.** B10 hücresine **=(B6*B4)/B8** formülü girilir.

**4.** B4 hücresine titrasyonda harcanan bazın hacmi girildiğinde B10 hücresinde asidin değişimi 3. maddedeki formüle göre aşağıda görülen görseldeki gibi hesaplanır.

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | HACİM DEĞERİ GİRİLECEK 0,5 M BAZ (NAOH) ÇÖZELTİSİNİN, DERİŞİMİ BİLİNMEYEN 50 mL ASİT (HCl) | | | | | | | |
| 2 | ÇÖZELTİSİYLE TİTRASYONUNDA EŞDEĞERLİK NOKTASI İÇİN ASİT DERİŞİMİNİN HESAPLANMASI | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | BAZIN HACMİNİ GİRİNİZ: | 100 | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | BAZIN DERİŞİMİ: | 0,5 | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | ASİDİN HACMİ: | 50 | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | ASİDİN DERİŞİMİNİN HESAPLANMASI: | 1 | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | |

**5.** Elektronik Tablolama Programında hücreye girilen bazın hacmine göre asidin derişimi hesaplanır.

# 1. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

| A BÖLÜMÜ |
|---|
| **1.** yörünge |
| **2.** obital |
| **3.** kuantum sayılarıyla |
| **4.** Pauli İlkesi |
| **5.** periyot numarasını |
| **6.** periyodik eğilimler |
| **7.** iyonlaşma enerjisi |
| **8.** azalır |
| **9.** artar |
| **10.** yükseltgenme basamağı |

| B BÖLÜMÜ |
|---|
| **1.** D |
| **2.** D |
| **3.** Y |
| **4.** D |
| **5.** D |
| **6.** Y |
| **7.** D |
| **8.** Y |
| |
| |

**C BÖLÜMÜ**

**2.** Orbital sayısı: 4, Elektron sayısı: 8

**3. a.** 2. periyot, 5A grubu

**b.** 3. periyot, 7A grubu

**c.** 4. periyot, 3B grubu

**ç.** 4. periyot, 8A grubu

**4. a.** ${}_{13}Al > {}_{17}Cl$ **b.** ${}_{12}Mg^{2+} < {}_{20}Ca^{2+}$

**5. a.** ${}_{12}Mg < {}_{15}P$ **b.** ${}_{11}Na > {}_{19}K$

**6.** Değerlik elektron sayısı: 2, Grubu: 2A

**8. a.** +4 **b.** +5 **c.** +6 **ç.** 0

| Ç BÖLÜMÜ |
|---|
| **1.** c |
| **2.** g |
| **3.** a |
| **4.** f |
| **5.** b |
| **6.** ç |
| **7.** e |
| **8.** d |
| |
| |

| D BÖLÜMÜ |
|---|
| **a.** H, N, O, F, Br |
| **b.** Ca |
| **c.** Fr |
| **ç.** Be, Ca |
| **d.** F, Br |
| **e.** Sc, Fe, Cu, Pt |
| **f.** F |
| **g.** Ar, Xe |
| **h.** B, Si, Sb |
| **ı.** H, N, O, F, Br |

| E BÖLÜMÜ | |
|---|---|
| **1.** C | **11.** B |
| **2.** D | **12.** A |
| **3.** B | **13.** B |
| **4.** D | **14.** D |
| **5.** E | **15.** D |
| **6.** C | **16.** A |
| **7.** A | **17.** A |
| **8.** B | **18.** D |
| **9.** E | **19.** E |
| **10.** C | **20.** D |

# 2. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

| A BÖLÜMÜ |
|---|
| **1.** basınç |
| **2.** gaz yasaları |
| **3.** hacim-sıcaklık |
| **4.** normal şartlarda |
| **5.** gerçek gaz |
| **6.** sıcaklık |
| **7.** kritik sıcaklık |
| **8.** kritik basınç |
| **9.** gaz |
| **10.** buhar |

| B BÖLÜMÜ |
|---|
| **1.** Y |
| **2.** D |
| **3.** D |
| **4.** Y |
| **5.** D |
| **6.** D |
| **7.** D |
| **8.** Y |
| |
| |

**C BÖLÜMÜ**

**1.** 167 °C

**3.** 2 atm

**4.** 1,8 atm

**6.** $\vartheta_{He} / \vartheta_{SO_2} = 4$

**7.** 0,32 g

**8.** $P_{He} = 1{,}6$ atm

$P_{CO_2} = 6{,}4$ atm

**10.** 0,45 g/L

## Ç BÖLÜMÜ

$n_{O_2}$ = 5 mol    $n_{Ne}$ = 3 mol

$n_{H_2S}$ = 6 mol    $n_{Ar}$ = 4 mol

$n_T$ = 18 mol

$P_{O_2}$ = 0,56 atm

$P_{Ne}$ = 0,33 atm

$P_{H_2S}$ = 0,67 atm

$P_{Ar}$ = 0,44 atm

$P_T$ = 2,00 atm

## D BÖLÜMÜ

| D BÖLÜMÜ |
|---|
| **1** - d |
| **2** - f |
| **3** - a |
| **4** - ç |
| **5** - c |
| **6** - h |
| **7** - e |
| **8** - b |

## E BÖLÜMÜ

| | |
|---|---|
| **1.** B | **11.** D |
| **2.** D | **12.** C |
| **3.** C | **13.** D |
| **4.** D | **14.** A |
| **5.** B | **15.** D |
| **6.** B | **16.** A |
| **7.** C | **17.** E |
| **8.** A | **18.** C |
| **9.** E | **19.** B |
| **10.** E | **20.** C |

# 3. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

## A BÖLÜMÜ

| A BÖLÜMÜ |
|---|
| **1.** polar |
| **2.** molarite |
| **3.** koligatif |
| **4.** osmotik basınçtır |
| **5.** doygunluğuna |
| **6.** aşırı doymuş |
| **7.** derişik |
| **8.** artarken |
| **9.** azalır |
| **10.** gazların |

## B BÖLÜMÜ

| B BÖLÜMÜ |
|---|
| **1.** D |
| **2.** D |
| **3.** Y |
| **4.** Y |
| **5.** D |
| **6.** Y |
| **7.** D |
| **8.** Y |

## C BÖLÜMÜ

**2.** 24 g

**3.** $X_{KOH}$ = 0,024

**4.** 19,6 m

**5.** $P_{çözücü}$ = 29,79 mmHg

**6.** 3,72 °C

**8.** 21 g

**9.** 37,5 g/100 g su

## Ç BÖLÜMÜ

| Ç BÖLÜMÜ |
|---|
| **1** - d |
| **2** - e |
| **3** - a |
| **4** - g |
| **5** - b |
| **6** - ç |
| **7** - f |
| **8** - c |
| **9** - i |
| **10** -ı |

## D BÖLÜMÜ

HCl ve $H_2O$: Dipol-dipol etkileşimi

$C_2H_5OH$ ve $H_2O$: Dipol-dipol etkileşimi hidrojen bağ

NaCl ve $H_2O$: İyon-dipol etkileşimi

$I_2$ ve $CCl_4$: London kuvvetleri

$NH_3$ ve $H_2O$: Dipol-dipol etkileşimi hidrojen bağ

$CO_2$ ve $H_2O$: Dipol-indüklenmiş dipol etkileşimi

## E BÖLÜMÜ

| | |
|---|---|
| **1.** B | **11.** E |
| **2.** D | **12.** D |
| **3.** A | **13.** E |
| **4.** D | **14.** B |
| **5.** C | **15.** B |
| **6.** B | **16.** D |
| **7.** E | **17.** A |
| **8.** D | **18.** E |
| **9.** E | **19.** C |
| **10.** A | **20.** E |

## 4. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

| A BÖLÜMÜ |
|---|
| **1.** ekzotermik tepkimelerdir. |
| **2.** endotermik tepkimelerdir. |
| **3.** entalpi |
| **4.** tepkime entalpisi |
| **5.** büyüktür |
| **6.** negatiftir |
| **7.** küçüktür |
| **8.** pozitiftir |
| **9.** standart oluşum entalpisi |
| **10.** 1 mol |

| B BÖLÜMÜ |
|---|
| **1.** Y |
| **2.** Y |
| **3.** D |
| **4.** D |
| **5.** Y |
| **6.** D |
| **7.** D |
| **8.** D |
| |
| |

**C BÖLÜMÜ**

**1. a.** Tepkimede dışarıya ısı verildiğinden tepkime ekzotermiktir.

**b.** Tepkimede dışarıdan ısı alındığından tepkime endotermiktir.

**2.** $\Delta H° = -851,5$ kJ/mol

**3.** $\Delta H° = -1246$ kJ/mol

**4.** $\Delta H° = -103,7$ kJ/mol

**Ç BÖLÜMÜ**

**a.** Standart tepkime entalpisi –137,0 kJ/mol'dür. Tepkime ekzotermik olduğundan girenlerin potansiyel enerjisi ürünlerinkinden büyüktür.

**b.** Standart tepkime entalpisi +147,3 kJ/mol'dür. Tepkime endotermik olduğundan girenlerin potansiyel enerjisi ürünlerinkinden düşüktür.

| D BÖLÜMÜ |
|---|
| **1** - e |
| **2** - ç |
| **3** - f |
| **4** - a |
| **5** - b |
| **6** - d |
| **7** - g |
| **8** - c |
| |
| |

| E BÖLÜMÜ | |
|---|---|
| **1.** C | **11.** C |
| **2.** D | **12.** A |
| **3.** D | **13.** D |
| **4.** B | **14.** E |
| **5.** E | **15.** C |
| **6.** B | **16.** B |
| **7.** A | **17.** C |
| **8.** C | **18.** B |
| **9.** D | **19.** A |
| **10.** E | |

## 5. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

| A BÖLÜMÜ |
|---|
| **1.** çarpışma teorisi |
| **2.** yeterli enerjiye |
| **3.** etkin çarpışma |
| **4.** etkin olmayan çarpışma |
| **5.** aktifleşme enerjisidir |
| **6.** potansiyel enerji |
| **7.** tepkime hızı |
| **8.** derişimdeki |
| **9.** mol/L s |
| **10.** sıcaklık |

| B BÖLÜMÜ |
|---|
| **1.** Y |
| **2.** D |
| **3.** D |
| **4.** D |
| **5.** Y |
| **6.** Y |
| **7.** D |
| **8.** D |
| |
| |

**C BÖLÜMÜ**

**4.** $r_{ort} = -\frac{1}{2}\frac{\Delta[SO_2]}{\Delta t}$ $\quad r_{ort} = -\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t}$

$r_{ort} = -\frac{1}{2}\frac{\Delta[SO_3]}{\Delta t}$

**5. a.** $1 \cdot 10^{-5}$ mol/L s

**b.** $2 \cdot 10^{-5}$ mol/L s

**6. a.** $r = k\,[NO][F_2]$

**b.** Tepkimenin mertebesi 2, moleküleritesi 3'tür.

| Ç BÖLÜMÜ |
| --- |
| **a.** İletkenlik değişiminden |
| **b.** Renk değişiminden |
| **c.** Hacim değişiminden |
| **ç.** Gaz çıkış hızından |
| **d.** Basınç değişiminden |

| D BÖLÜMÜ |
| --- |
| **1** - d |
| **2** - h |
| **3** - a |
| **4** - f |
| **5** - b |
| **6** - ç |
| **7** - c |
| **8** - g |
| |
| |

| E BÖLÜMÜ | |
| --- | --- |
| **1.** A | **11.** B |
| **2.** B | **12.** E |
| **3.** D | **13.** C |
| **4.** C | **14.** A |
| **5.** D | **15.** D |
| **6.** C | **16.** E |
| **7.** C | **17.** E |
| **8.** E | **18.** D |
| **9.** C | **19.** A |
| **10.** A | |

## 6. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

| A BÖLÜMÜ |
| --- |
| **1.** kimyasal denge |
| **2.** Le Chatelier İlkesi'ne |
| **3.** basınç |
| **4.** pH |
| **5.** $H^+$ iyonu |
| **6.** proton |
| **7.** iyonlaşabilen |
| **8.** asitlik sabiti |
| **9.** bazlık sabiti |
| **10.** çözünürlük çarpımı |

| B BÖLÜMÜ |
| --- |
| **1.** D |
| **2.** D |
| **3.** Y |
| **4.** D |
| **5.** D |
| **6.** Y |
| **7.** D |
| **8.** Y |
| |
| |

| C BÖLÜMÜ |
| --- |
| **1.** $K_c = 1$ |
| **4. a.** İleri yönde |
| **b.** İleri yönde |
| **c.** Geri yönde |
| **ç.** Değişmez |
| **5.** pH = 3, pOH = 11 |
| **6.** 40 mL |
| **7.** $1,5 \cdot 10^{-2}$ |
| **8.** $1 \cdot 10^{-9}$ |

| Ç BÖLÜMÜ |
| --- |
| **1** - ç |
| **2** - e |
| **3** - h |
| **4** - d |
| **5** - c |
| **6** - f |
| **7** - b |
| **8** - a |
| |
| |

| D BÖLÜMÜ | |
| --- | --- |
| **(a)** 0,015 | **(h)** 0,01 |
| **(b)** $6,6 \cdot 10^{-13}$ | **(ı)** $4,0 \cdot 10^{-9}$ |
| **(c)** 1,82 | **(i)** 5,6 |
| **(ç)** 12,18 | **(j)** 8,4 |
| **(d)** 0,02 | **(k)** 0,40 |
| **(e)** $2,51 \cdot 10^{-13}$ | **(l)** $3,7 \cdot 10^{-12}$ |
| **(f)** 12,60 | **(m)** 11,43 |
| **(g)** 1,40 | **(n)** 2,57 |

| E BÖLÜMÜ | |
| --- | --- |
| **1.** C | **11.** E |
| **2.** E | **12.** C |
| **3.** D | **13.** B |
| **4.** E | **14.** C |
| **5.** D | **15.** C |
| **6.** D | **16.** B |
| **7.** B | **17.** A |
| **8.** C | **18.** A |
| **9.** E | **19.** C |
| **10.** A | **20.** C |

## 1. ÜNİTE ALIŞTIRMALAR

**1)** $n = 4$; $\ell = 2$; $m_\ell = -2, -1, 0, +1, +2$

**2)** a. $_{12}Mg$: $1s^2\ 2s^22p^6\ 3s^2$

b. $_{19}K$: $1s^2\ 2s^22p^6\ 3s^23p^6\ 4s^1$

c. $_{28}Ni^{2+}$: $1s^2\ 2s^22p^6\ 3s^23p^63d^8$

ç. $_{36}Kr$: $1s^2\ 2s^22p^6\ 3s^23p^6\ 4s^23d^{10}4p^6$

**3)** a. $_7N$: 2. periyot, 5A grubu

b. $_{15}P$: 3. periyot, 5A grubu

c. $_{18}Ar$: 3. periyot, 8A grubu

ç. $_{22}Ti$: 4. periyot, 4B grubu

**4)** a. $_{11}Na > _{13}Al$ b. $_7N^{3-} > _9F^-$

**5)** $_{12}Mg < _{17}Cl$

**6)** Mg elementinin değerlik elektron sayısı 2'dir. Grup numarası 2A'dır.

**7)** $_4Be$: 2. periyot, 2A grubu

$_{20}Ca$: 2. periyot, 4A grubu

$_{11}Na$: 3. periyot, 1A grubu

$_{17}Cl$: 3. periyot, 7A grubu

**8)** $Cl_2O$ bileşiğinde Cl atomunun yükseltgenme basamağı +1'dir.

$PO_4^{3-}$ iyonunda P atomunun yükseltgenme basamağı +5'tir.

## 3. ÜNİTE ALIŞTIRMALAR

**1)** 1. $m_{Ca(OH)_2} = 2{,}96$

2. 12,06 M

**2)** 16 m

**3)** Kütlece %4'lük

**4)** Hacimce %35'lik

**5)** $X_{H_2O} = 0{,}95$

$X_{NaOH} = 0{,}05$

**6)** 7,2 ppm

**7)** 30,39 mmHg

**8)** 177,8 °C

**9)** 101,4 °C

**10)** 101,02 °C

**11)** 1. 96 g/100 g su

2. $m_{NaBr} = 200$ g

$M_{H_2O} = 250$ g

**12)** 1. 60 g KBr

2. 9 g $NaIO_3$

## 2. ÜNİTE ALIŞTIRMALAR

**1)** 10 L

**2)** 1. 0,5 atm

2. 0,13 atm

3. 0,5 g/L

4. a. 0,85 g

b. 1,12 L

**3)** 100 m/s

**4)** $P_{CH_4} = 2{,}52$ atm $P_{C_2H_6} = 0{,}14$ atm

$P_{C_3H_8} = 0{,}084$ atm $P_{C_4H_{10}} = 0{,}028$ atm

$P_X = 0{,}028$ atm

**5)** 1. a. $P_{H_2} = 0{,}82$ atm b. $n_{HCl} = 0{,}04$ mol

2. a. $P_{O_2} = 0{,}96$ atm b. $m_{Ag_2O} = 1{,}5$ g

## 4. ÜNİTE ALIŞTIRMALAR

**1)** a. Ekzotermik

b. Endotermik

c. Endotermik

ç. Ekzotermik

**2)** $\Delta H° = -1427{,}8$ kJ/mol

**3)** 1. $\Delta H°_{(C\equiv O)} = -1066$ kJ/mol

2. $\Delta H° = +542$ kJ/mol

**4)** $\Delta H° = +33{,}1$ kJ/mol

## 5. ÜNİTE ALIŞTIRMALAR

**1)** a. 0,025 mol/L s

b. 0,1 mol/L s

**2)** a. Tepkime 2. mertebedendir.

b. 1. basamak hız belirleyen basamaktır. Dolayısıyla hızlı olan 2. basamağa göre 1. basamak yavaştır.

c. $2NO(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2NOCl(g)$

## 6. ÜNİTE ALIŞTIRMALAR

**1)** a. $K_d = [HCl]^2 / [H_2]\ [Cl_2]$

b. $K_d = [CO]\ [H_2O] / [CO_2]\ [H_2]$

**2)** a. $K_p = K_c$

b. $K_p = K_c\ (RT)^2$

**3)** Tepkime dengede değildir. Net tepkime geri yönde ilerler.

**4)** $K_c' = 4$

**5)** $K_c = 12,5$

**6)** 1. $[H_3O^+] = 1 \cdot 10^{-5}$

$[OH^-] = 1 \cdot 10^{-9}$

2. pH = 13 pOH = 1

**7)** a. $HCO_3^-$ (Baz); $H_2O$ (Asit)

b. $CH_3COOH$ (Asit); $H_2O$ (Baz)

**8)** a. HF (Asit 1); $H_2O$ (Baz 2); $F^-$ (Baz 1); $H_3O^+$ (Asit 2)

HF / $F^-$ ve $H_2O$ / $H_3O^+$ çiftleri konjuge asit-baz çiftleridir.

b. $CH_3NH_2$ (Baz 1); $H_2O$ (Asit 2);

$CH_3NH_3^+$ (Asit 1); $OH^-$ (Baz 2)

$CH_3NH_2$ / $CH_3NH_3^+$ ve $H_2O$ / $OH^-$ çiftleri konjuge asit-baz çiftleridir.

**9)** a. %4

b. %16,7

**10)** a. pH = 1

b. pH = 12

**11)** a. pH = 4,8

b. pH = 11,8

**12)** 0,08 M

**13)** a. $K_{çç} = [Ag^+]^2\ [SO_4^{2-}]$

b. $K_{çç} = [Pb^{2+}]\ [OH^-]^2$

c. $K_{çç} = [Ca^{2+}]\ [CO_3^{2-}]$

ç. $K_{çç} = [Ba^{2+}]\ [F^-]^2$

**14)** $[Pb^{2+}] = [Pb(OH)_2] = 4,1 \cdot 10^{-6}$ M

**15)** a. $[Pb^{2+}] = [PbCl_2] = 1,6 \cdot 10^{-2}$ M

b. $[Pb^{2+}] = 0,1$ M

## A

**açısal momentum kuantum sayısı:** Orbital türlerini ve şekillerini belirten sayı.

**alkali metaller:** 1A grubu elementleri.

**amfoter oksitler:** Asitlerle tepkimeye girdiğinde bazik özellik, bazlarla tepkimeye girdiğinde asidik özellik gösteren oksitler.

**asal gazlar:** 8A grubu elementleri.

**aşırı doygun çözelti:** Belirli şartlarda, belirli bir miktar çözücüde çözünebilenden daha fazla çözünen madde içeren çözelti.

**atom yarıçapı:** Birbirlerine komşu aynı iki atomun çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısı.

**Aufbau Prensibi:** Elektronların orbitallere en düşük enerji düzeyinden başlayarak en yüksek enerji düzeyine doğru dağılacağını belirten kural.

**Avogadro Yasası:** Sabit basınçta ve sıcaklıkta bütün gazların eşit hacimlerinde eşit sayıda molekülün (gaz tek atomlu ise atomun) var olduğunu belirten yasa.

## B

**bağ enerjisi:** Herhangi bir kimyasal bağı kırmak için verilmesi gereken enerji.

**barometre:** Atmosfer basıncını ölçen araç.

**baş kuantum sayısı:** Tam sayılarla ifade edilen ve atomda elektronun bulunduğu enerji düzeyini belirten sayı.

**Boyle Yasası:** Sabit sıcaklıkta, belirli bir miktar gazın hacminin basıncı ile ters orantılı olduğunu belirten yasa.

**buhar:** Kritik sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda basınçla sıvılaştırılabilen akışkan madde.

**buharlaşma:** Bir maddenin sıvı fazdan gaz fazına geçmesi.

## C

**Charles Yasası:** Sabit basınçta, belirli bir miktar gazın hacminin mutlak sıcaklığı ile doğru orantılı olduğunu belirten yasa.

## Ç

**çözünürlük:** Belirli bir sıcaklıkta ve basınçta, belirli bir miktar çözücüde en fazla çözünebilen madde miktarı.

## D

**değerlik elektronları:** Bir atomun kimyasal bağ oluşumuna katılan dış katmanındaki elektronları.

**değerlik orbitalleri:** Bir atomun değerlik elektronlarının bulunduğu orbitaller.

**derişik çözelti:** Derişimi yüksek olan çözelti.

**difüzyon:** Gaz moleküllerinin başka gaz molekülleri arasına yavaş yavaş yayılması olayı.

**doymamış çözelti:** Belirli şartlarda, belirli bir miktar çözücüde çözünebilenden daha az çözünen madde içeren çözelti.

**doygun çözelti:** Belirli şartlarda, belirli bir miktar çözücüde çözünebilen kadar çözünen madde içeren çözelti.

## E

**efüzyon:** Gaz moleküllerinin yüksek basınçlı bölgeden düşük basınçlı bölgeye küçük bir delikten kaçması olayı.

**elektronegatiflik:** Kimyasal bir bağdaki atomların bağ elektronlarını çekme gücü.

**elektron dizilimi:** Bir atomdaki elektronların orbitallere ne şekilde yerleştirileceğini gösteren bir dizilim.

**elektron ilgisi:** Gaz hâlindeki atomun bir elektron kazanması esnasında meydana gelen enerji değişimi.

**entalpi:** Sabit basınçta enerji alışverişini izlemeye imkân sağlayan termodinamik özellik.

**etkin çarpışma:** Bir tepkime vermek üzere yeterli bir enerjiye ve uygun bir yönlenmeye sahip moleküller arasındaki çarpışma.

## F

**faz:** Basınç, sıcaklık, yoğunluk ve derişim gibi özelliklerin her noktasında aynı olduğu sistem bölgeleri.

## G

**Gay-Lussac Yasası:** Sabit hacimde, belirli bir miktar gazın basıncının mutlak sıcaklığı ile doğru orantılı olduğunu belirten yasa.

**Graham Difüzyon Yasası:** Bir gazın yayılma hızının, gazın mol kütlesinin karekökü ile ters orantılı olduğunu belirten yasa.

**gaz:** Kritik sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda basınçla sıvılaştırılamayan akışkan madde.

**geçiş elementleri:** Periyodik tabloda yer alan B grubu elementleri.

**Gerçek gaz:** Moleküller arasında çekim kuvvetinin olduğu gaz.

## H

**halojenler:** Astatin dışında 7A grubu elementleri.

**hız belirleyen basamak:** Net tepkimenin hızını belirleyen yavaş basamak.

**hidrojen bağı:** Bir molekülde elektronegatifliği yüksek N, O veya F gibi bir atoma bağlanmış olan H atomunun, başka bir moleküldeki N, O veya F gibi atomun ortaklanmamış elektron çiftini çekmesi sonucu oluşan moleküller arası bağ.

**Hund Kuralı:** Bir atomdaki elektronların eş enerjili orbitallere önce birer birer dağılacağını belirten kural.

## İ

**iç geçiş elementleri:** Periyodik tablonun altında yatay iki sıra hâlinde yer alan f bloku elementleri.

**ideal gaz:** Moleküller arasında çekim kuvvetinin olmadığı kabul edilen gaz.

**indüklenmiş dipol-indüklenmiş dipol etkileşimi:** Anlık dipoller arasındaki etkileşim.

**iyonlaşma enerjisi:** Gaz hâlindeki atomdan bir elektronun uzaklaştırılması için gerekli olan enerji.

**iyon-dipol etkileşimi:** İyonlar ve kalıcı dipoller arasındaki etkileşim.

**iyon yarıçap:** İyonik katıdaki bir katyonun veya bir anyonun yarıçapı.

## K

**kalıcı dipol:** Polar bir molekülde kısmi pozitif ve kısmi negatif yük ayrımı.

**katalizör:** Tepkime ortamına eklendiğinde tepkimenin daha düşük aktifleşme enerjili bir yol (mekanizma) izlemesini sağlayarak tepkime hızını artıran ve tepkimede değişmeden çıkan madde.

**kimyasal tepkime:** Bir ya da daha fazla maddenin, bir veya daha fazla farklı maddeye dönüşümü işlemi.

**koligatif özellikler:** Çözücü ve çözünen taneciklerin sayılarına bağlı olup çözünenin kimyasal türüne bağlı olmayan, buhar basıncı alçalması, donma noktası alçalması ve kaynama noktası yükselmesi gibi özellikler.

**kovalent yarıçap:** Tek bir kovalent bağ ile bağlanmış aynı ametal atomların çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısı.

**kritik basınç:** Bir gazı kritik sıcaklıkta sıvılaştırmak için gerekli olan basınç.

**kritik nokta:** Kritik sıcaklık ve kritik basıncın birleştiği nokta.

**kritik sıcaklık:** Basınç uygulayarak sıvılaştırılamayan gazın sıcaklığı.

**konjuge asit-baz çifti:** Brønsted-Lowry asit-baz denge tepkimelerinde, aralarında 1 proton fark bulunan asit-baz çifti.

**kuantum:** Enerjinin elektromanyetik ışıma şeklinde yayınlanabilen veya soğurulabilen en küçük miktarına adı verilir.

## L

**London kuvvetleri:** Anlık dipoller arasında gerçekleşen zayıf etkileşim.

## M

**manometre:** Gaz basıncını ölçen araç.

**manyetik kuantum sayısı:** Orbitalin uzayda yönlenmsini belirten sayı.

**molalite:** 1 kg çözücüde çözünen maddenin mol sayısı.

**molarite:** 1 L çözeltide çözünen maddenin mol sayısı.

**mol kesri:** Çözeltideki bir bileşenin mol sayısının, çözeltideki tüm bileşenlerin mol sayılarının toplamına bölünmesi ile elde edilen oran.

## N

**normal şartlar:** 1 atmosfer basınç ve 0 °C (273 K) sıcaklık.

**nötralleşme tepkimesi:** Bir asit ile bir bazın etkileşmesi sonucunda tuz ve suyun oluştuğu tepkime.

## O

**orbital:** n, $\ell$, $m_\ell$ kuantum sayılarıyla belirlenen dalga fonksiyonu.

**oda şartları:** 1 atmosfer basınç ve 25 °C (298 K) sıcaklık.

**oksitli bileşikler:** Elementlerin oksijenle oluşturduğu bileşikler.

**oksitlenme tepkimeleri:** Metallerin oksijenle verdiği yanma tepkimeleri.

**ortalama hız:** Girenlerin veya ürünlerin derişiminin belirli bir zaman aralığındaki değişim hızı.

**osmoz:** Çözücü moleküllerinin bir membran ile seyreltik çözeltiden derişik çözeltiye net geçişi.

**osmotik basınç:** Osmozu önlemek için gerekli olan dış basınç.

## P

**Pauli İlkesi:** Bir atomda aynı dört kuantum sayısına sahip iki elektronun olamayacağını belirten kural.

**pH:** Bir çözeltide hidrojen iyonu derişiminin negatif logaritması.

**ppm:** 1 kilogram çözeltide çözünmüş maddenin miligram cinsinden miktarı.

## R

**Raoult Yasası:** Bir çözeltideki çözücünün buhar basıncının ($P_{çözücü}$), saf çözücünün buhar basıncı ($P°_{çözücü}$) ile çözeltideki çözücünün mol kesrinin ($X_{çözücü}$) çarpımına eşit olduğun ifade edildiği yasa.

## S

**seyreltik çözelti:** Derişimi düşük olan çözelti.

**spin kuantum sayısı:** Orbitalde elektronun dönme yönlerinin zıt olduğunu gösteren sayı.

**standart oluşum entalpisi:** Belirli hâldeki bir maddenin, standart şartlarda kendisini elementlerinden oluşturan entalpi değişimi.

**suyun oto-iyonizasyonu:** Saf suyun kendi kendine iyonlaşarak $H_3O^+$ ve $OH^-$ iyonlarını oluşturması.

## T

**tampon çözelti:** Belirli miktarlara kadar asit veya baz eklendiğinde, çözeltinin pH değerinin değişmesini engeller yönde tepkime verebilen çözeltiler.

**temel hâl:** Elektronun bulunduğu en düşük enerji düzeyi.

**tepkime mertebesi:** Hız eşitliğinde derişimlerdeki üstel sayıların toplamı.

**toprak alkali metaller:** 2A grubu elementleri.

**ters osmoz:** Membranın tuzlu su tarafına osmotik basınçtan daha fazla bir basınç uygulayarak su moleküllerinin tuzlu sudan tatlı su tarafına doğru geçişinin sağlanması.

## U

**uyarılmış hâl:** Elektronun enerji soğurarak üst enerji düzeylerine geçmesi.

## Ü

**üçlü nokta:** Faz diyagramında katı, sıvı ve gaz fazların birlikte dinamik dengede olduğu nokta.

## V

**van der Waals yarıçap:** Katı hâldeki asal gazlarda veya apolar moleküllerde komşu atomların çekirdekleri arasındaki uzaklığın yarısı.

**van't Hoff faktörü:** Bir elektrolitin suda iyonlarına ayrışma derecesinin ölçüsü.

## Y

**yoğuşma:** Bir maddenin gaz fazdan sıvı faza geçmesi.

**yükseltgenme basamağı:** Bileşiği oluşturan element atomunun aldığı, verdiği veya ortaklaşa kullandığı elektronların sayı.

# KAYNAKÇA

1. Aras, N. K., Tunalı, N. K., (2002). *Kimya Temel Kavramlar*, İstanbul: Beta Basım Yayın.

2. Atasoy, B., (2000). *Genel Kimya*, Ankara: Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.

3. Atkins, P., Jones, L., (2013). *Genel Kimya İlkeler ve İç Yüzünü Kavrama*, (Çev. Edt.: A. R. Türker), Ankara: Palme Yayıncılık.

4. Chang, R., Goldsby, K. A., (2014). *Genel Kimya*, (Çev. Edt.: R. İnam, S. Aksoy), Ankara: Palme Yayıncılık.

5. Erdik, E., Sarıkaya, Y., (2002). *Temel Üniversite Kimyası*, Ankara: Gazi Kitabevi.

6. Gündüz,T., (2008). *Çevre Kimyası*, Ankara: Gazi Kitabevi.

7. Mahan, B. H., (1983). *Üniversite Kimyası*, (Çev. Edt.: C. Şenvar, E. Edgüder), Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları.

8. Miessler, G. L.,Tarr, D. A., (2002). *İnorganik Kimya*, (Çev. Edt.: N. Karacan, P. Gürkan), Ankara: Palme Yayıncılık.

9. Mortimer, C. E., (1999). *Modern Üniversite Kimyası*, (Çev. Edt.: T. Altınata ve Diğerleri), Cilt 1, İstanbul: Çağlayan Kitabevi.

10. Mortimer, C. E., (1999). *Modern Üniversite Kimyası*, (Çev. Edt.: T. Altınata ve Diğerleri), Cilt 2, İstanbul: Çağlayan Kitabevi.

11. Ölmez, H., Yılmaz, V. T., (2008). *Anorganik Kimya Temel Kavramlar*, İstanbul: Marmara Kitap Merkezi Yayıncılık.

12. Petrucci, R. H., Harwood, S. W., Herring, G., (2005). *Genel Kimya İlkeler ve Modern Uygulamalar 1*, (Çev. Edt.: T. Uyar, S. Aksoy), Ankara: Palme Yayıncılık.

13. Petrucci, R. H.,Harwood, S. W., Herring, G., (2005). *Genel Kimya İlkeler ve Modern Uygulamalar 2*, (Çev. Edt.: T. Uyar, S. Aksoy), Ankara: Palme Yayıncılık.

14. Sarıkaya, Y., (2008). *Fizikokimya*, Ankara: Gazi Kitabevi.

15. Ortaöğretim Kimya Dersi (9, 10, 11 ve 12. sınıflar) Öğretim Programı, (2018). Ankara: T.C. Millî Eğitim Bakanlığı.

16. Tro, N. J., (2016). *Genel Kimya*, (Çev. Edt.: E. Köksal, A. Denizli), Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

17. Whitten, K. W., Davis, R. E., Peck, M. L., Stanley G. G., (2014). *Kimya*, Cilt 1, (Çev. Edt.: M. Tüfekçi, S. Karaböcek, S. Karslıoğlu, A. Demirbaş), Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

18. Whitten, K. W., Davis, R. E., Peck, M. L., Stanley G. G., (2014). *Kimya*, Cilt 2, (Çev. Edt.: M. Tüfekçi, S. Karaböcek, S. Karslıoğlu, A. Demirbaş), Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

## GENEL AĞ'DAN ALINAN GÖRSELLER


**Sayfa 15** : http://www.parisrues.com/pp/louisdebroglie01.jpg, Erişim Tarihi:15.10.2018.

**Sayfa 15** : https://oiger.de/wp-content/uploads/Werner_Heisenberg.jpg, Erişim Tarihi:15.09.2018.

**Sayfa 15** : https://bakingsciencetraveller.files.wordpress.com/2017/08/erwinschroedinger2.jpg, Erişim Tarihi: 10.11.2018.

**Sayfa 47** : https://www.wikihow.com/Find-Oxidation-Numbers#/Image:Find-Oxidation-Numbers-Step-12-Version-2.jpg, Erişim Tarihi: 04.05.2019.

**Sayfa 70** : http://2.bp.blogspot.com/-lmIO_DzpX5s/VI-Ffhck49I/AAAAAAAAAT0/KMA2ddIE-B8/s1600/Helium%2B-%2BGas%2BBlog.png, Erişim Tarihi:15.08.2018.

**Sayfa 76** : https://sciencedocbox.com/docs-images/76/73554611/images/2-0.jpg, Erişim Tarihi: 15.07.2018.

**Sayfa 87** : https://reader010.docslide.net/reader010/slide/20180612/55cf8dd3550346703b8ba94f/document-32.png, Erişim Tarihi:09.07.2018.

**Sayfa 99** : https://i1.wp.com/bigboyconcessions.co/shop/images/P/Dry%20Ice.jpg?resize=806%2C645, Erişim Tarihi:12.07.2018.

**Sayfa 102** : https://www.art-prints-on-demand.com/kunst/_englishphotographer/thm_james_prescott_joule_1818_89_b.jpg, Erişim Tarihi:11.09.2018.

**Sayfa 102** : https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/b3/0f/ce/b30fce3243e303d70c1ee213f712296b.jpg, Erişim Tarihi:24.07.2018.

**Sayfa 115** : https://docplayer.info/docs-images/62/47181205/images/21-2.jpg, Erişim Tarihi:21.09.2018.

**Sayfa 124** : https://2.bp.blogspot.com/-DCe-g1U1qDY/TwbFn3RwfhI/AAAAAAAAA90/seaxqHOGhQc/s1600/3.jpg, Erişim Tarihi:12.05.2018.

**Sayfa 126** : http://docplayer.net/docs-images/65/53285282/images/50-0.jpg, Erişim Tarihi:26.09.2018.

**Sayfa 127** : https://docplayer.it/docs-images/70/62711494/images/24-5.jpg, Erişim Tarihi:14.08.2018.

**Sayfa 137** : https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/infogram-particles-700/school1354881133.jpg, Erişim Tarihi:13.09.2018.

**Sayfa 138** : http://shaunmwilliams.com/GenChem/figures/chapter11/osmosis_measuring.jpg, Erişim Tarihi:22.10.2018.

**Sayfa 138** : https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Spiral_flow_membrane_module.jpg, Erişim Tarihi:25.06.2018.

**Sayfa 138** : http://syfobeverages.com/wp-content/uploads/2014/10/ro.png, Erişim Tarihi:11.08.2018.

**Sayfa 140** : http://images.flatworldknowledge.com/averillfwk/averillfwk-fig01_009.jpg, Erişim Tarihi:22.09.2018.

**Sayfa 141** : http://www.nyscopes.com/image/cache/data/Glassware/102453-500x500.jpg, Erişim Tarihi: 14.03.2018.

**Sayfa 141** : https://cdn7.bigcommerce.com/s-ufhcuzfxw9/images/stencil/1280x1280/products/12011/16003/CE-BEI0400_12038.1503517943.jpg?c=2&imbypass=on, Erişim Tarihi:21.07.2018.

**Sayfa 158** : https://s3.amazonaws.com/photos.geni.com/p13/5a/1c/76/42/5344483da4f39bf9/hindenburg-wide_large.jpg, Erişim Tarihi:18.09.2018.

**Sayfa 158** : https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-98464134f49e67ff77a1de20c3968765, Erişim Tarihi: 21.09.2018.

**Sayfa 159** : https://chem.libretexts.org/@api/deki/files/26787/5047b4653a4f636b2de270dee1eb0d36.jpg?rrevision=3 , Erişim Tarihi: 12.05.2019.

**Sayfa 173** : http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/72/Hess_Germain_Henri.jpg, Erişim Tarihi: 2.09.2018.

**Sayfa 185** : https://c2.staticflickr.com/2/1274/591321214_b2daeffa33.jpg, Erişim Tarihi:14.05.2018.

**Sayfa 191** : http://dept.harpercollege.edu/chemistry/chm/100/dgodambe/thedisk/chemrxn/rxnh.jpg, Erişim Tarihi:17.07.2018.

**Sayfa 204** : http://p1.pstatp.com/large/113f200012f039e866821, Erişim Tarihi:22.05.2018.

**Sayfa 204** : https://www.gercekbilim.com/wp-content/uploads/2016/07/oktay-sinano%C4%9Flunun-ard%C4%B1ndan.jpg, Erişim Tarihi:04.06.2018.

**Sayfa 212** : https://i1.wp.com/www.impack-pratama.com/wp-content/uploads/2018/02/2017-10-13-PHOTO-00000038.jpg, Erişim Tarihi:14.08.2018.

**Sayfa 213** : http://3dparks.wr.usgs.gov/grba/photos/gb163.jpg, Erişim Tarihi:14.08.2018.

**Sayfa 226** : https://eltamiz.com/images/2014/05/le-chatelier.jpg, Erişim Tarihi:15.07.2018.

**Sayfa 235** : https://img0.liveinternet.ru/images/attach/c/2//68/984/68984704_Soren_Peter_Lauritz_Sorensen.jpg, Erişim Tarihi:04.06.2018.

**Sayfa 236** : http://slapthebase.weebly.com/uploads/5/0/1/4/50143185/4244453.png?423, Erişim Tarihi: 11.01.2018.

**Sayfa 251** : https://cpimg.tistatic.com/02210194/b/4/Ammonium-Chloride-A-R-.jpg, Erişim Tarihi: 11.08.2018.

**Sayfa 254** : https://www.picclickimg.com/d/w1600/pict/222917774479_/Blue-Litmus-Paper-Strips-Acid-Indicator-Test-Paper.jpg, Erişim Tarihi:02.08.2018.

**Sayfa 254** : https://www.picclickimg.com/d/w1600/pict/222917775719_/Red-Litmus-Paper-Strips-Alkali-Base-Indicator-Test.jpg, Erişim Tarihi:21.03.2018.

**Sayfa 254** : https://contestimg.wish.com/api/webimage/5743e9774b20837c31637983-3-large.jpg, Erişim Tarihi:14.06.2018.

**Sayfa 263** : https://i.pinimg.com/originals/fa/a4/c4/faa4c4df83c5fa2767a81bbcd0f0f5cc.jpg, Erişim Tarihi:14.06.2018.

**Sayfa 264** : https://i2.wp.com/slideplayer.com/8034359/25/images/35/Reaction+of+magnesium+chloride+and+silver+nitrate..jpg, Erişim Tarihi:01.09.2018.

### http:/www.shutterstock.com GENEL AĞ ADRESİNDEN ALINAN GÖRSELLER

**Sayfa 21:** 116429668; **Sayfa 28:** 56295502; **Sayfa 41:** 108401759; **Sayfa 59:** 73995892; **Sayfa 91:** 691449004; **Sayfa 110:** 1056910679; **Sayfa 111:** 184766267; **Sayfa 119:** 97062584; **Sayfa 129:** 173885255; **Sayfa 131:** 68438350; **Sayfa 139:** 1148379161; **Sayfa 144:** 130306310; **Sayfa 160:** 1013002015; **Sayfa 171:** 25395616; **Sayfa 172:** 151435595; **Sayfa 183:** 92624740; **Sayfa 192:** 399346855; **Sayfa 202:** 191335451 ve 68881726; **Sayfa 215:** 227750827; **Sayfa 225:** 63106675; **Sayfa 233:** 584860426; **Sayfa 251:** 138924017; **Sayfa 255:** 435740725, Erişim Tarihi:10.10.2018.

### YAYINEVİNDEN SAĞLANAN GÖRSELLER

Genel Ağ'dan alınan görseller ve http:/www.shutterstock.com adresinden alınan görseller dışındaki görseller yayınevi tarafından sağlanmıştır.